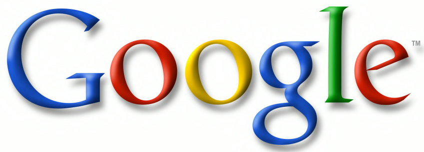




Leitfaden

zum Berechnen und Entwerfen

von

Lüftungs- und Heizungs-Anlagen

von

H. Rietschel

I

Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen

von

Lüftungs- und Heizungs-Anlagen.

Auf Anregung
Seiner Excellenz des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten

verfasst

von

H. Rietschel
Geh. Regierungs-Rath, Professor an der Kgl. Technischen Hochschule
zu Berlin.

Zweite, durchgesehene Auflage.

I.

Mit 48 Textfiguren.



Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1894.

Druck von G. Bernstein in Berlin.



Vorwort zur ersten Auflage.

Wenn ich den auf Anregung Seiner Excellenz des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten von mir verfassten Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen hiermit der Oeffentlichkeit übergebe, so geschieht es, weil mir ein für den unmittelbaren Gebrauch in der Praxis bestimmtes und nicht zu umfangreiches Werk zu fehlen scheint.

Die auf dem Gebiete des Lüftungs- und Heizungswesens vorhandenen Lehrbücher sind wohl geeignet, dem Ingenieur zum Studium und als Rathgeber, nicht aber bei seinen Ausführungen als Führer dienen zu können, da die allgemeine Behandlung des Stoffes und die theoretischen Entwickelungen die Uebersichtlichkeit vermindern und die für die leichte Benutzung erforderliche knappe Form verbieten.

Der Leitfaden soll der Praxis dienen; er enthält theoretische Entwicklungen nur insoweit, als solche für die richtige Anwendung des Gebotenen unbedingt erforderlich schienen.

Zwischen dem Angebot und der Ausführung von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen besteht zur Zeit, wie ich aus meinen zahlreichen Fällen gutachtlicher Thätigkeit weiss, kein richtiges Verhältniss. Für das Angebot sind meist die Ansprüche an die Arbeitslast der ausführenden Ingenieure in Folge der Forderung einer unnöthig grossen Anzahl von Zeichnungen, Beschreibungen, Rechnungsbelägen u. s. w. sehr bedeutend, für die Ausführung dagegen wird sowohl in hygienischer als technischer Beziehung häufig ein zu geringer Anspruch an die Ausführenden gestellt und somit dem Entstehen mangelhafter Anlagen der beste Vorschub geleistet.

Auf dem Gebiete des Lüftungs- und Heizungswesens giebt es noch viele Punkte, die sich zur Zeit einer wissenschaftlichen Behandlung entziehen; soweit aber eine solche möglich ist und in dem Rahmen praktischer Verwerthbarkeit liegt, sollte die Anwendung derselben zum Vortheile für die Anlagen und zum Erscheinen einer segensreichen Konkurrenz jederzeit verlangt werden. Wissenschaftliche Behandlung allein giebt die Gewähr, dass man sich auf hellen

Pfaden bewegt und dass der Schritt, den man oft in der Praxis vom streng richtigen Wege thun muss, nicht zum Fehler wird.

Die Aufgabe, welche ich mir bei Bearbeitung des Leitfadens gestellt habe, ging dahin, die Auftraggeber und bauleitenden Architekten mit den zu erhebenden Forderungen bekannt zu machen, den Ausführenden aber die erforderlichen Berechnungsweisen an die Hand zu geben. Sowohl für das Angebot, als für die Ausführung war ich bemüht, die Arbeit der Berechnung nach Möglichkeit zu verringern und zu erleichtern — die ganze Behandlung des Stoffes und die im zweiten Theil enthaltenen Tabellen werden dies bestätigen. Zahlreiche Beispiele zeigen die Anwendung des Gebotenen in der Praxis.

Die dem Leitfaden beigegebenen Zeichnungen geben über eine grosse Anzahl und zum Theil der wichtigsten zur Zeit in der Praxis Anwendung findenden Konstruktionen Aufschluss. Um unnöthige Erweiterungen des Textes zu vermeiden, sind den Zeichnungen nur die allernöthigsten Erläuterungen beigefügt worden — sie setzen somit eine gewisse Bekanntschaft mit dem Gebiete, dem sie zugehören, voraus. Am Schlusse des ersten Theiles haben noch die neuesten Vorschriften über Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungs-Anlagen in den unter Staatsverwaltung stehenden Gebäuden Preussens Aufnahme gefunden.

Berlin, im April 1893.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Schon nach Jahresfrist ist die Herausgabe einer neuen Auflage nothwendig geworden; dieselbe ist nur ein durchgesehener Abdruck der ersten.

Da der Leitfaden für die Praxis bestimmt ist, so liegt mir daran, Mängel, die sich bei dem praktischen Gebrauche herausstellen sollten, kennen zu lernen, um sie bei einer nöthig werdenden dritten Auflage vermeiden zu können. Bei der freundlichen Aufnahme, welcher sich der Leitfaden zu erfreuen hat, richte ich daher an alle diejenigen, welche mit demselben arbeiten, die Bitte, mir über wünschenswerthe Ergänzungen oder Aenderungen Mittheilung machen zu wollen.

Berlin, im April 1894.

Der Verfasser.



Inhaltsverzeichniss.

Erster Theil.

Lüftung.

Erstes Kapitel.

Zweites Kapitel.

Drittes Kapitel.

Viertes Kapitel.

Fünftes Kapitel.

Sechstes Kapitel.

Entwerfen und Berechnen von Lüftungsanlagen.

Heizung.

Siebentes Kapitel.

Entwickelung und Nutzbarmachung der Wärme.

Achtes Kapitel.

Seite

Neuntes Kapitel.

Erforderliche Wärmemenge zur Erwärmung eines geschlossenen Raumes.

Zehntes Kapitel.

Ueber Heizungsanlagen im allgemeinen.

Elftes Kapitel.

Lokal-Heizung.

Zwölftes Kapitel.

Warmwasserheizung.

Dreizehntes Kapitel.

Heisswasserheizung.

Vierzehntes Kapitel.

Hochdruck-Dampfheizung.

Fünfzehntes Kapitel.

Niederdruck-Dampfheizung.

Lüftung.

Anmerkung: Ueber Lüftung und Heizung siehe auch:

Degen, Ventilation und Heizung, München 1878. – Deny, Die rationelle Heizung und Lüftung, deutsch von Haesicke, Berlin 1886. — Fanderlick, Elemente der Lüftung und Heizung, Wien 1887. — Ferrini, Technologie der Wärme u. s. w., deutsch von M. Schröter, Jena 1887. — H. Fischer, Heizung und Lüftung der Räume. Handbuch der Architektur, Berlin 1891. — F. Fischer, Feuerungsanlagen, Karlsruhe 1889. — Grashof, Theoretische Maschinenlehre, Leipzig 1875. — E. Haesicke, Die Schulheizung, Berlin 1893. — Joly, Traité pratique de chauffage etc., Paris 1873. — Morin, Manuel pratique du chauffage et de la ventilation, Paris 1874. — Paul, Lehrbuch der Heizungs- und Lüftungstechnik, Wien, Pest, Leipzig 1885. — Péclet, Traité de la chaleur, Paris 1861, deutsch von C. Hartmann, Leipzig 1866. — Planat, chauffage et de ventilation de lieux habités, Paris 1880. — Redtenbacher, Der Maschinenbau, Mannheim 1863. — Rietschel, Lüftung und Heizung von Schulen, Berlin 1886. — Schinz, Die Wärmemesskunst, Stuttgart 1858. — Valérius, Les applications de la chaleur, Paris 1879. — Wolpert, Theorie und Praxis der Ventilation und Heizung, Braunschweig 1880.



Erstes Kapitel.

Einige Eigenschaften der Luft.

1. Zusammensetzung der Luft. Die Luft im reinen Zustande ist ein Gemenge von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf und Kohlensäure. Von den letzten Beiden abgesehen, besteht die Luft dem Volumen nach aus 21 Theilen Sauerstoff und 79 Theilen Stickstoff, dem Gewichte nach aus 24 Theilen Sauerstoff und 76 Theilen Stickstoff. Der Wasserdampfgehalt schwankt innerhalb weiter Grenzen; der Kohlensäuregehalt beträgt im Mittel etwa 0,4 ‰.

2. Ausdehnung der Luft. Die Luft dehnt sich bei Erwärmung von 0° auf 1° der hunderttheiligen Thermometerskala — auf welche in der Folge alle Temperaturen bezogen werden — um $0{,}003665 = \frac{1}{273}$ ihres Volumens aus. Dieser Werth wird mit dem Buchstaben α bezeichnet und heisst der Ausdehnungskoeffizient der Luft. Das Volumen L_0 bei 0° ist daher nach Erwärmung auf $t°$ übergegangen in das Volumen:

$$L = L_0 (1 + \alpha t). \qquad (1)$$

Ist das Volumen L bei $t°$ gegeben, so ist dies auf 0° reduzirt $L_0 = \frac{L}{1 + \alpha t}$; $\frac{1}{1 + \alpha t}$ stellt allgemein die Dichtigkeit der Luft bezogen auf Luft von 0° dar. Ist das Volumen L gegeben und wird dasselbe auf $t_1°$ erwärmt (bezw. gekühlt), so ist alsdann das Volumen geworden:

$$L_1 = L\left(\frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t}\right). \qquad (2)$$

(Die Werthe von $1 + \alpha t$ und $\frac{1}{1 + \alpha t}$ sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.)

3. Druck der Luft. Der Druck der Luft wird gemessen durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule im leeren Raume, welche der Luft das Gleichgewicht hält (Barometer). Der normale (mittlere) Barometerstand gemessen über dem Meeresspiegel beträgt 760 mm Quecksilbersäule oder 10,333 m (für die Praxis rund 10 m) Wassersäule.

Der mittlere Druck der Atmosphäre über dem Meeresspiegel stellt sich somit auf 10 333 kg (für die Praxis rund 10 000 kg) pro qm oder auf rund ein kg pro qcm.

4. Gewicht der Luft. 1 cbm trockene Luft von 0° bei 760 mm Barometerstand wiegt (n. Regnault) 1,293 187 kg, abgekürzt 1,293 kg. 1 cbm trockene Luft von $t°$ bei 760 mm Barometerstand wiegt:

$$\frac{1,293}{1+\alpha t},$$

1 cbm trockene Luft von $t°$ bei S mm Barometerstand wiegt:

$$\frac{1,293\,S}{(1+\alpha t)\,760},$$

1 cbm mit Wasserdampf gesättigte Luft von $t°$ bei S mm Barometerstand und bei einer Spannung des Dampfes von S_1 mm Quecksilbersäule wiegt:

$$\frac{1,293\,(S-0,377\,S_1)}{(1+\alpha t)\,760}.$$

Da die feuchte Luft somit leichter ist als trockene Luft, in der Lüftungstechnik aber stets mit den ungünstigsten Verhältnissen gerechnet werden muss, soll für die Berechnung von Anlagen allgemein das Gewicht von L cbm Luft bei $t°$ gesetzt werden:

$$G=\frac{1,293\,L}{1+\alpha t}\,\text{kg}. \qquad (3)$$

(Das Gewicht eines Kubikmeters Luft bei verschiedenen Temperaturen ist aus Tabelle 1 zu entnehmen.)

5. Erwärmung der Luft. Die specifische Wärme der Luft bei konstantem Druck ist 0,237, mithin ist zur Erwärmung von L cbm $= G$ kg Luft von $t°$ auf $t_1°$ an Wärmemenge erforderlich:

$$W=0,237\,G\,(t_1-t)=\frac{0,306\,L}{1+\alpha t}(t_1-t)\,WE \qquad (4)$$

(WE Abkürzung für Wärmeeinheiten).

Unter einer Wärmeeinheit ist diejenige Wärmemenge zu verstehen, welche erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen oder, da die Dichtigkeit des Wassers bei verschiedenen Wärmegraden nicht bedeutend abweicht, allgemein für die Praxis diejenige Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um 1° zu erwärmen vermag.

6. Mischung verschiedener Luftmengen. Werden m kg $= L$ cbm Luft von $t°$ mit n kg $= L_1$ cbm Luft von $t_1°$ gemischt, so ist die Mischungstemperatur:

$$t_x=\frac{mt+nt_1}{m+n}=\frac{Lt\,(1+\alpha t_1)+L_1 t_1\,(1+\alpha t)}{L\,(1+\alpha t_1)+L_1\,(1+\alpha t)}.$$

7. Wassergehalt der Luft. Die in einem Kubikmeter bezw. einem Kilogramm gesättigter Luft von t° enthaltene Menge Wasser in kg bei 760 mm Barometerstand und einer Dampfspannung von S_1 mm Quecksilbersäule beträgt:

$$g = \frac{0{,}00106\, S_1}{1 + \alpha t} \text{ bezw.} = \frac{0{,}00106\, S_1}{1{,}2932} \text{ kg.}$$

(Die Werthe von g und S_1 bei verschiedenen Temperaturen sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.)

Unter „absoluter Feuchtigkeit" ist diejenige Gewichtsmenge Wasser zu verstehen, welche die Luft thatsächlich enthält; unter „relativer Feuchtigkeit" das Verhältniss der Menge Wasser, welche in der Luft enthalten ist, zu derjenigen, welche sie im gesättigten Zustande enthalten würde, also ein Procentsatz der Sättigung. Die absolute Feuchtigkeit bleibt auch nach Erwärmung und sofern der Thaupunkt nicht überschritten wird, auch nach Abkühlung der Luft dieselbe; die relative ändert sich mit der Zunahme und bis zum Eintritt des Thaupunktes mit der Abnahme der Temperatur.

Enthält 1 cbm Luft von t_0° im gesättigten Zustande g_0 kg Wasser, ist aber nur auf p_0 % gesättigt und wird derselbe auf t° erwärmt, so stellt sich der Procentsatz p, mit welchem alsdann die Luft noch gesättigt ist, wenn 1 cbm von t° im gesättigten Zustande g kg Wasser aufnehmen kann:

$$p = \frac{p_0\, g_0 (1 + \alpha t_0)}{g (1 + \alpha t)}. \qquad (5)$$

Ergiebt sich bei Abkühlung $p > 100$, so ist die Luft gesättigt, der über 100 hinausgehende Procentsatz aber als ausgeschieden zu betrachten.

Zweites Kapitel.

Nothwendigkeit des Luftwechsels.

Nach Massgabe der hygienischen Forderung ergiebt sich die Nothwendigkeit regelmässigen Luftwechsels in geschlossenen von Menschen benutzten Räumen in Folge der jederzeit eintretenden Güteverminderung der Luft. Die Ursachen dieser Güteverminderung sind im wesentlichen — sofern nicht eine von Fall zu Fall zu behandelnde Verunreinigung der Luft durch mechanische oder chemische Vorgänge vorliegt — folgende.

1. Ausscheidung organischer Produkte durch Ausathmung und Ausdünstung der Menschen. Dieselbe ist zur Zeit noch garnicht oder unzulänglich bestimmbar; die organischen Produkte sind theils gas-, theils dunstförmig, theils an Staub gebunden und geben die Ursache des Zimmergeruchs. v. Pettenkofer sagt, dass sie die Widerstandsfähigkeit gegen krankmachende Agentien herabsetzen.

2. Ausscheidung von Wasserdampf durch die Menschen. Dieselbe ist wechselnd je nach dem Wassergehalt der Aussenluft und je nach der körperlichen Beschäftigung der Menschen. Im Mittel beträgt die Wasserabgabe eines Erwachsenen*) 36 Gramm, eines Kindes 15 Gramm.

Wissenschaftlich ist noch nicht erwiesen, welcher Feuchtigkeitsgehalt der den Menschen umgebenden Luft für die Gesundheit am zuträglichsten ist, oder richtiger (n. Flügge), welches Sättigungsdeficit die Luft an Feuchtigkeit besitzen soll**). Im Winter bei geheizten Räumen ist auf Beseitigung des von den Anwesenden abgegebenen Wasserdampfes keine besondere Rücksicht, wohl aber bei einem einigermassen kräftigen Luftwechsel behufs Vermeidung eines zu geringen Feuchtigkeitsgehaltes auf künstliche Anfeuchtung der Luft bedacht zu nehmen. Im Sommer dagegen wird häufig der Wunsch entstehen, eine Verminderung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft herbeizuführen. Im allgemeinen ist wohl anzunehmen, dass zu trockne Luft weniger nachtheilig für die Gesundheit ist, als zu feuchte Luft. Der Techniker wird allen Ansprüchen genügen, wenn er bei seinen Anlagen Vorsorge trifft, dass in geschlossenen Räumen auch ohne Benutzung derselben im Winter bei vollem Lüftungsbetriebe ein Feuchtigkeitsgehalt von 50 %, höchstens 60 % der absoluten Sättigung zu erreichen ist, im Sommer bei Kühlanlagen ein solcher von 70 % nicht überschritten wird.

3. Ausscheidung von Kohlensäure durch die Menschen. Der Mensch entzieht beim Athmen der Luft Sauerstoff und ersetzt denselben durch Kohlensäure. Fortgesetztes Einathmen bedeutender Mengen Kohlensäure führt den Tod des Menschen herbei. Die ausgeathmete oder durch Beleuchtung erzeugte Kohlensäure erreicht infolge der Durchlässigkeit der Baumaterialien und Undichtigkeit der Fenster und Thürverschlüsse selten eine der Gesundheit nachtheilige Höhe. Die ausgeathmete Kohlensäure gewinnt aber eine Bedeutung für die Nothwendigkeit des Luftwechsels, insofern als nach v. Pettenkofer anzunehmen ist, dass die Ausscheidung organischer Produkte beim Menschen proportional der ausgeathmeten Kohlensäure ge-

*) Flügge, Lehrbuch der hygienischen Untersuchungsmethoden.

**) S. a. Gesundheits-Ingenieur 1888, No. 1.

setzt, die Letztere daher als Massstab der Luftverunreinigung durch Ausathmung und Ausdünstung angesehen werden kann.

Die Kohlensäure hat ein spec. Gewicht bezogen auf Luft von 1,529; trotzdem ist in Folge von Diffusion und der beständigen Luftbewegung in einem geschlossenen von Menschen benutzten Raume der Kohlensäuregehalt über dem Fussboden und unter der Decke nahezu der gleiche.

Die Kohlensäure-Entwickelung beim Menschen ist verschieden je nach Alter, Geschlecht, Beschäftigung und Kost. Die stündliche Kohlensäure-Entwicklung geht aus folgender Tabelle hervor:

	Alter Jahre	Körpergewicht kg	Stündliche Kohlensäure-Entwickelung cbm	
Kräftiger Arbeiter bei der Arbeit	28	72,00	0,0363	nach v. Pettenkofer*)
Kräftiger Arbeiter bei der Ruhe	28	72,00	0,0226	
Mann	28	82,00	0,0186	nach Scharling**)
Frau	35	65,00	0,017	
Jüngling	16	57,75	0,0174	
Jungfrau	17	55,75	0,0129	
Knabe	9,75	22,00	0,0103	
Mädchen	10	23,00	0,0097	

4. Produkte der Beleuchtung. Für diese soll wiederum nach v. Pettenkofer die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure den Massstab der Verunreinigung bilden.

Die Kohlensäure-Entwickelung ist aus folgender Aufstellung zu entnehmen***).

	Stündlicher Verbrauch für 100 Kerzen	Kohlensäure cbm bei 0°
Leuchtgas, Argandbrenner	0,8 cbm (bis 2)	0,46
„ Zweilochbrenner	2,0 „ („ 8)	1,14
Petroleum, grosser Rundbrenner	0,28 kg	0,44
„ kleiner Flachbrenner	0,60 „	0,95
Wachs	0,77 „	1,18
Stearin	0,92 „	1,30

*) Zeitschrift für Biologie, Bd. II.
**) C. S. Lehmann, Handbuch der physiol. Chemie, Leipzig 1854.
***) Fischer, Jahresbericht der chem. Technologie 1883.

5. Wärmeabgabe durch Menschen und Beleuchtung. Die Wärmeabgabe der Menschen an die Luft wird verschieden angegeben, sie beträgt stündlich nach von Pettenkofer bei Erwachsenen etwa 100 *WE*, bei Kindern etwa die Hälfte. Die Temperaturdifferenz zwischen Körperwärme und umgebender Luft kann für Benutzung dieser Werthe in der Praxis zu 37 — 20° angenommen werden.

Es ist daher die Wärmeentwickelung eines Erwachsenen: $W = 6(37 - t)$, eines Kindes: $W = 3(37 - t)$ zu setzen, wenn t die Temperatur der dieselben umgebenden Luft bedeutet.

Die Wärmeentwickelung durch die Beleuchtung*) geht aus folgender Aufstellung hervor:

Beleuchtungsart	Menge	Wärmeeinheiten
Elektrisches Licht für stündliche Erzeugung von 100 Kerzen:		
Bogenlicht	0,09 bis 0,25 PS.	57 bis 158
Glühlicht	0,46 bis 0,85 „	290 bis 536
Erdöl . . . . . (wenn sich die Verbrennungsprodukte mit der Luft mischen)	1 kg	12 000
Wachskerzen (wenn sich die Verbrennungsprodukte mit der Luft mischen)	1 „	10 300
Stearinkerzen (wenn sich die Verbrennungsprodukte mit der Luft mischen)	1 „	9 730
Gas . . . . . . (wenn sich die Verbrennungsprodukte mit der Luft mischen)	1 cbm	6 000

Drittes Kapitel.

Grösse des Luftwechsels.

I. Bestimmung der Grösse des Luftwechsels nach Massgabe hygienischer Forderung.

Aus der Nothwendigkeit des Luftwechsels heraus ist in erster Linie die erforderliche Grösse desselben zu bestimmen. Jede nicht berechenbare Güteverminderung der Luft kann für die Grössenbestimmung des Luftwechsels nicht in Frage kommen.

Nach dem vorigen Kapitel sind nur die Kohlensäure — als Massstab für die Verunreinigung der Luft durch Produkte der Ausathmung und Ausdünstung, sowie durch diejenigen der Beleuchtung

*) Fischer, Jahresbericht der chemischen Technologie 1883.

— und die Wärmeentwickelung — welche eine unter Umständen der Gesundheit nachtheilige Temperatursteigerung hervorruft — für die Bestimmung des Luftwechsels geeignet, in allen anderen Fällen können zur Zeit nur Erfahrungssätze in Benutzung treten.

1. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung der Kohlensäure-Produktion der Menschen und der Beleuchtung. Unter der Annahme, dass sich die an die Luft abgegebene Kohlensäure sofort gleichmässig im Raume vertheilt, beträgt der Luftwechsel (nach Kohlrausch)

$$L = \frac{\frac{I}{z_2 - z_1}(p_1 - p_2) + nk}{\frac{p_1 + p_2}{2} - a}, \qquad (6^a)$$

worin bedeutet:

L die zuzuführende Luftmenge, I der Inhalt des Raumes, z_1 die Anfangs-, z_2 die Endzeit, p_1 den CO_2 Gehalt eines cbm Luft im Raume, ausgedrückt in cbm zur Zeit z_1, p_2 denjenigen zur Zeit z_2, n die Anzahl der CO_2 Quellen, k die stündliche CO_2 Produktion einer solchen, a den CO_2 Gehalt eines cbm der eingeführten Luft in cbm.

Für den Beharrungszustand, der meist nur in Frage kommt, ist $p_1 = p_2 = p$, also der stündliche Luftwechsel in cbm zu berechnen nach der Formel:

$$L = \frac{nk}{p - a}. \qquad (6^b)$$

Für a ist nach Früherem 0,0004, für p nach v. Pettenkofer*) für eine Zimmerluft, in der der Mensch sich erfahrungsgemäss dauernd wohl befindet, 0,0007 zu setzen, doch erklärt v. Pettenkofer die Luft noch für sanitär zulässig, wenn $p = 0{,}001$ angenommen wird.

Für die Beleuchtung setzt v. Pettenkofer dieselben Grenzen, doch ist die Berechnung des Luftwechsels für die Kohlensäureentwickelung der Menschen und der Beleuchtung getrennt aufzustellen und der Luftwechsel alsdann zu addiren.

Die Berechnung des Luftwechsels nach Massgabe eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalts ist für alle diejenigen Räume anzuwenden, in denen sich eine grössere Anzahl Menschen am Tage dauernd aufzuhalten hat (Schulen, Lehranstalten etc.). (Die Grösse des erforderlichen Luftwechsels unter verschiedenen Verhältnissen geht aus Tabelle 2 hervor).

2. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung einer nicht zu überschreitenden Temperatur im Raume. In Räumen, in welchen Menschen eine besondere körperliche Arbeit nicht verrichten, ist die

*) von Pettenkofer: über den Luftwechsel in Wohngebäuden, München, 1858. Gutachten v. 2. December 1873 betr. Einrichtung der Erziehungsinstitute.

der Gesundheit und dem Wohlbefinden angemessenste Temperatur im Winter zu etwa 18 — 20° C. anzunehmen.

Bei vorübergehendem Aufenthalte kann eine Steigerung bis auf etwa 23° C. für zulässig erklärt werden; in und über Beleuchtungszonen, sofern Menschen sich daselbst nicht aufzuhalten haben, sind höhere Temperaturen zu gestatten.

Bedeutet W_1 die Wärmemenge, welche durch die Anwesenden, W_2 diejenige, welche durch die Beleuchtung stündlich einem Raume zugeführt wird, W_3 die Wärmemenge, welche stündlich von den Wänden, Fenstern u. s. w. des Raumes bei der im Raume herrschenden zulässigen Temperatur im Winter nach aussen abgegeben, im Sommer nach innen übergeführt wird, so ist die durch die Lüftung stündlich wegzuschaffende Wärmemenge:

$$W = W_1 + W_2 \mp W_3. \qquad (7)$$

Bei W_3 gilt für den Winter das obere, für den Sommer das untere Vorzeichen.

Im Beharrungszustande und bei angenommener gleichmässiger Vertheilung der Wärme im Raume muss der stündliche Luftwechsel in cbm, ausgedrückt in der zulässigen Temperatur t, betragen, wenn t' die Temperatur der eingeführten kühleren Luft bezeichnet:

$$L = \frac{W(1 + \alpha t)}{0{,}306(t - t')}. \qquad (8)$$

Die Bestimmung der Grösse des Luftwechsels nach Massgabe der Wärmeabgabe ist hauptsächlich für Räume anzuwenden, in denen sich eine grosse Anzahl Menschen besonders am Abend versammelt. (Theater, Concertsäle, Versammlungsräume u. s. w.). (Tabelle 3 enthält die Grösse des erforderlichen Luftwechsels bezogen auf eine durch denselben wegzuführende Wärmemenge von 100 *WE* für verschiedene Raum- und Einströmungstemperaturen.)

3. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung von Erfahrungssätzen. Die unter 1 und 2 angegebene Bestimmung des Luftwechsels setzt häufig und gleichmässig wiederkehrende Verhältnisse und vor allem die Bekanntschaft der Benutzung der Räume in bezug auf Anzahl der Personen voraus. Sofern Angaben nach dieser Richtung nicht gemacht werden können, müssen Erfahrungssätze angewendet werden; gewöhnlich drückt man dann den stündlichen Luftwechsel im Vielfachen des Rauminhalts aus.

In der Regel wird der einmalige Luftwechsel bei wenig benutzten Räumen ausreichen, ein grösserer Luftwechsel mit Steigerung der Benutzung einzutreten haben. Bei Räumen, in denen sich Gerüche entwickeln, ist eine Steigerung des Luftwechsels bis auf den 4 bis 5 fachen Rauminhalt erforderlich.

II. Bestimmung der Grösse des Luftwechsels in der Praxis.

1. Unter Berücksichtigung des nach Massgabe hygienischer Forderung berechneten Luftwechsels. Die erste Bedingung der Lüftung ist die Erzielung des Luftwechsels ohne Zugerscheinungen. Bei den meisten Gebäuden ist die Anzahl und Anordnung der künstlichen Luftwege eine beschränkte und hat sich alsdann bei gewöhnlichen Temperaturverhältnissen in der Praxis ergeben, dass ohne Zugerscheinungen hervorzurufen der stündliche Luftwechsel nicht leicht über das Fünffache des Rauminhalts gesteigert werden kann.*)

Bei Annahme dieser Thatsache muss jedesmal der nach Massgabe der hygienischen Forderung berechnete Luftwechsel mit dem Inhalte des betreffenden Raumes in Vergleich gebracht werden. Beträgt der berechnete Luftwechsel mehr als das Fünffache des Rauminhalts, so ist entweder der Raum bei derselben Anzahl Personen grösser (höher) zu machen oder es sind andere Grundbedingungen zu schaffen.

Nach dem Gesagten ist es jederzeit fehlerhaft für bestimmt bemessene Räume einen Luftwechsel ohne Berücksichtigung des Rauminhalts vorzuschreiben.

Der Luftwechsel, welcher sich unter Zugrundelegung eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehaltes nach der Forderung v. Pettenkofers ergiebt, ist bei nicht zu dicht besetzten Räumen nach Massgabe des fünffachen Rauminhalts meist einhaltbar, bei dichtbesetzten Räumen dagegen häufig nicht. Alsdann muss allerdings, wenn eine Vergrösserung der Räume nicht statthaft ist, ein etwas höherer Kohlensäure-Gehalt für zulässig erklärt werden, doch sollte derselbe nicht über 1,5 ‰ bei gesunden Menschen hinausgehen, bei Kranken ist 0,7 ‰ unbedingt einzuhalten.

Der Luftwechsel nach Massgabe einer nicht zu überschreitenden Temperatur ist im Winter bei Räumen ohne künstliche oder lediglich mit elektrischer Beleuchtung, sofern ein Teil ihrer Wände von der Aussenluft bespült werden, fast immer zu erzielen; bei kräftiger Gasbeleuchtung sind aber meistens nur dann zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen, wenn die Räume eine beträchtliche Höhe besitzen, die Anwesenden sich nicht im Bereiche der Beleuchtungszone befinden, die Beleuchtung in angemessener Entfernung von den Personen angebracht ist (da kein Luftwechsel die Belästigung durch strahlende Wärme beseitigen kann) und die warme Luft über der Beleuchtungszone möglichst kurzer Hand abgeführt wird.

---

*) S. Rietschel, Lüftung und Heizung von Schulen.

In solchen Fällen ist es zweckmässig den Luftwechsel für die Menschen und die Beleuchtung getrennt zu bestimmen und auch die Anordnung der Zuluft- und Abluftkanäle ebenfalls in getrennter Weise für die Menschen und die Beleuchtung nach Massgabe der Zonen zu treffen. Die Berechnung des Luftwechsels geschieht wie angegeben, nur dass für den Raum über der Beleuchtung eine höhere zulässige Temperatur angenommen wird. Befinden sich die Anwesenden in dem Bereiche der Luft einer Gasbeleuchtung, so muss auf Einhaltung einer behaglichen Temperatur verzichtet werden.

Im Sommer oder wenn der zu lüftende Raum von warmen Räumen eingeschlossen wird, ist die Einhaltung der äusseren oder einer niedrigeren Temperatur nur mittelst Kühlanlagen und auch dann nur bedingt zu erzielen.

Sind die einzuhaltenden Temperaturen in den zu lüftenden Räumen verschieden und ist L_1 der Luftwechsel eines Raumes in cbm gegeben in der Temperatur t_1, L_2 derjenige in der Temperatur t_2 u. s. w., so ist die Luftmenge, welche von aussen mit der Temperatur t_0 zu entnehmen ist:

$$L_0 = \left(\frac{L_1}{1+\alpha t_1} + \frac{L_2}{1+\alpha t_2} + \cdots \frac{L_n}{1+\alpha t_n}\right)(1+\alpha t_0). \qquad (9)$$

2. Unter Berücksichtigung gleichzeitiger Erwärmung der Räume im Winter durch die einzuführende Luft. In Fällen, in denen durch die einzuführende Luft gleichzeitig die Erwärmung der Räume erfolgt (Luftheizung), muss bei Einhaltung einer nicht zu überschreitenden Eintrittstemperatur der Luft (s. d.) häufig der Luftwechsel behufs genügender Erwärmung des Raumes im Winter zeitweise grösser, als die Hygiene fordert, angenommen werden, d. h. wenn der Ausdruck (s. Gleichung 7) $W_1 + W_2 - W_3$ negativ ist, also durch Lufteinführung nicht ein Wärmeüberschuss abgeleitet, sondern ein solcher zugeführt werden muss. Ist alsdann t' die höchste zulässige Einströmungstemperatur der Luft, so muss der stündliche Luftwechsel in cbm ausgedrückt in t° betragen:

$$L_1 = \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\,(t'-t)}, \qquad (10)$$

wobei

$$W = W_3 - W_1 - W_2 \qquad (10^a)$$

zu setzen ist und W die einzuführende Wärmemenge darstellt, W_1, W_2 und W_3 die Bedeutung unter I, 2 für die niedrigste Aussentemperatur haben.

Der Berechnung der Kanalquerschnitte ist dieser Luftwechsel indess nicht zu Grunde zu legen, er kommt nur für den Heizapparat

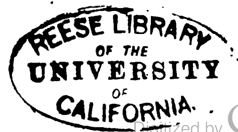
in Frage. Ist ein bestimmter Luftwechsel nach hygienischer Forderung vorgeschrieben und soll zur Erwärmung der Räume Luftheizung unter Einhaltung einer nicht zu überschreitenden Eintrittstemperatur der Luft dienen, so ist auch nicht ohne weiteres zwischen dem hygienisch nothwendig werdenden und dem nach Gleichung 10 zur Erwärmung der Räume erforderlichen Luftwechsel der grössere Werth für die Berechnung der Kanalquerschnitte zu wählen, sondern es muss für diesen Zweck jederzeit der in Rechnung zu ziehende Luftwechsel nach Massgabe des im 17. Kapitel, Abschnitt II, 4 Gesagten, bestimmt werden.

3. **Zusammenstellung der Ergebnisse.** a) Zur Annahme des Luftwechsels für Räume, welche keine oder elektrische Beleuchtung besitzen, kann folgende auf Grund der mitgetheilten Erörterungen bewirkte Zusammenstellung benutzt werden.

	Geringster stündlicher Luftwechsel*)	Grösster stündlicher Luftwechsel*)
Krankenräume für Erwachsene	75 cbm	75 cbm
„ „ Kinder	35 „	35 „
Schulräume		
für Kinder im Alter bis zu 10 Jahren	10 „	17 „
„ „ „ „ über 10 Jahre .	16 „	28 „
Auditorien, Versammlungssäle	17 „	30 „
Theater, Concert- und Festsäle	25 „	30 „
Gefängnisse und Kasernen	20 „	30 „
Oeffentliche Kassenräume	15 „	20 „
Geschäftsräume bei starker Besetzung	17 „	30 „
„ „ geringer „	20 „	2 facher des Rauminhalts
Wohnräume	1 facher des Rauminhalts	2 „ „ „
Treppenhäuser und Corridore		
bei starker Benutzung	3 „ „ „	4 „ „ „
„ geringer „	½ „ „ „	1 „ „ „
Küchen und Aborte	3 „ „ „	5 „ „ „

b) Für Räume, bei welchen die Einhaltung bestimmter Temperaturen erforderlich erscheint, sowie für solche, welche gleichzeitig durch die einzuführende Luft erwärmt werden sollen, muss der erforderliche Luftwechsel für jeden einzelnen Fall wie angegeben berechnet werden. Sollte das hierdurch gefundene Ergebniss kleinere Werthe liefern als die obige Aufstellung enthält, so ist diese für die Bestimmung des erforderlichen Luftwechsels zu Grunde zu legen.

*) Soweit der Luftwechsel in cbm angegeben ist, bezieht sich derselbe auf eine Person.



Viertes Kapitel.

Erzielung des Luftwechsels.

Jeder Luftwechsel bedingt Zu- und Ableitung von Luft, und da durch die Lüftung möglichst reine Luft im Raume erhalten werden soll, Zuleitung reiner und Ableitung verbrauchter Luft. Luftwechsel erfordert Luftbewegung, Luftbewegung Störung des Gleichgewichts.

Wird an zwei übereinander liegenden Punkten eines Raumes die Innen- mit der Aussenluft verbunden, so herrscht nach Massgabe communicirender Röhren bei überall gleicher Temperatur Gleichgewicht zwischen den beiden durch die Aussen- und Innen-Luft gebildeten Luftsäulen von der Höhe der Entfernung beider Oeffnungen. Das Gleichgewicht kann gestört und somit eine Bewegung der Luft erzielt werden, entweder durch Verminderung oder durch Vermehrung des Druckes einer Luftsäule. Verminderung des Druckes der inneren Luftsäule wird erreicht durch Erwärmen, Vermehrung durch Abkühlen; Verminderung des Druckes der äusseren Luftsäule wird mittelbar erzielt durch Absaugen der inneren Luft an der unteren Oeffnung, Vermehrung durch Einpressen der äusseren Luft.

I. Natürliche Lüftung.

Infolge der Durchlässigkeit der meisten Baumaterialien herrscht in fast allen Räumen bei verschiedener Innen- und Aussentemperatur Luftwechsel — sogenannte „Natürliche Lüftung“. Dieselbe soll hier keine nähere Erörterung erfahren, da sie sehr schwankend, meist unzureichend ist und von Zufälligkeiten abhängt, die sich der Berechnung entziehen, mithin nicht für Lüftungsanlagen im eigentlichen Sinne Verwendung finden kann. Zweck einer jeden Lüftungsanlage bildet die Erzielung eines unter bestimmten Verhältnissen geforderten Luftwechsels.

Nachfolgende Angaben, welche für Beurtheilung mancher Verhältnisse — auch der weiter folgenden — von Werth sind, mögen hier Anführung finden.

Gewöhnliche Wohnräume ohne äusseren und inneren Oelanstrich erfahren bei mittlerer Wintertemperatur etwa einen halb bis einmaligen stündlichen Luftwechsel in Folge der natürlichen Lüftung.

Die Durchlässigkeit der verschiedenen Baumaterialien vermindert sich (n. Lang)*) in folgender Reihenfolge:

*) C. Lang, Ueber natürliche Lüftung, Stuttgart 1877.

Kalkstein,
Fichtenholz über Hirn (Faserrichtung),
Luftmörtel,
Beton,
stark gebrannte Handziegel,
Klinker (Verblendsteine) unglasirt,
Portland-Cement,
Sandstein,
schwach gebrannte Handziegel,
Eichenholz (Faserrichtung),
Gyps (gegossen),
glasirte Klinker (undurchlässig).

Die Reihenfolge der Verminderung der Durchlässigkeit durch die Wandbekleidung ist folgende:

Anstrich von Kalkfarbe,
Anstrich von Leimfarbe,
Tapeten,
Oelfarbenanstrich (neu undurchlässig),
Wasserglas (mit der Zeit undurchlässig).

Erfüllung mit Wasser vermindert die Durchlässigkeit bei:

Sandstein und Ziegel um etwa 80 $^0/_0$,
Luftmörtel um etwa 93 $^0/_0$,
Beton und Cement um 100 $^0/_0$.

II. Künstliche (absichtliche) Lüftung.

Unter den Begriff der künstlichen Lüftung fallen alle Anlagen, bei welchen besondere Wege (Kanäle) für Leitung der Luft vorgesehen werden. Unter dem Ausdrucke: „Lüftungsanlagen" wird im Folgenden stets eine Anlage mit künstlicher Lüftung verstanden.

Allgemeine Anordnung und Eintheilung der Lüftungsanlagen.

1. Zuleitung reiner Luft. Die einfachste Anordnung derselben besteht in einer unmittelbaren Verbindung des zu lüftenden Raumes mit der Aussenluft. Dieselbe ist nicht zu empfehlen, da im Winter Zugerscheinungen unausbleiblich sind, Staub in die Räume eindringt, Wind, Regen und Schnee störende Einflüsse geltend machen und bezüglich der Entnahmestellen der Luft freie Wahl nicht möglich ist.

Zugerscheinungen lassen sich vermindern, unter Umständen auch ganz beseitigen, sofern die Luft vor Eintritt in den Raum an dem Heizkörper desselhen vorübergeführt, also vorgewärmt wird. Regen und Schnee lassen sich abhalten durch geeigneten Schutz der äusseren

Entnahmeöffnung für die Luft, Einflüsse des Windes sind nicht, auch bei Anwendung von Klappen, Schiebern u. s. w. nur in ungenügendem Maasse zu beseitigen, höchst selten auch der Eintritt von Staub, da Filtervorrichtungen in entsprechender Grösse meist nicht angebracht werden können und sich rasch verstopfen. Steht der Heizkörper entfernt von der äusseren Entnahmestelle, so dienen horizontale Kanäle in, über oder unter dem Fussboden für Zuführung der Luft nach dem Heizkörper und Ablagerung eines Theiles des Staubes, doch ist diese Anordnung vom hygienischen Standpunkte niemals zu empfehlen, selbst wenn die Kanäle genügend reinigungsfähig hergestellt werden. Nur in Nothfällen soll man zu derartigen Einrichtungen greifen.

Besser schon ist die mittelbare Einführung frischer Luft, d. h. durch einen anderen grösseren Raum z. B. Corridor, Flur u. s. w. hindurch, in welchen frische Luft von aussen eintritt. Es setzt diese Anordnung die geringe Benutzung des betreffenden Raumes, auch die Gestattung von Schallübertragungen voraus. Anwendung kann die Anordnung der Einfachheit halber mitunter finden, sofern die Luft vor Eintritt in den Vorraum am Heizkörper desselben vorgewärmt wird und unter oder über den Heizkörpern in die zu lüftenden Räume tritt.

Zweckmässiger ist es, die in die Vorräume verschiedener Stockwerke tretende Luft an gemeinsamer Stelle in einem tiefer gelegenen Stockwerke zu erwärmen und kann eine derartige Anlage häufig Empfehlung verdienen.

Die vollkommenste Zuluftanlage ist diejenige, bei welcher zunächst gemeinsame Entnahme der Luft und Vorwärmung derselben an einem Heizapparate innerhalb eines besonderen in einem möglichst tief liegenden Stockwerke (Keller) befindlichen Raumes (Heizkammer) erfolgt und alsdann entweder unmittelbar von der Heizkammer oder erst nach Vertheilung durch einen horizontalen Vertheilungskanal, Zuführung nach den einzelnen Räumen in getrennten aufsteigenden Kanälen stattfindet. Es ist dann möglich die meisten der vorgenannten Uebelstände zu vermeiden und in gesicherter Weise den erforderlichen Luftwechsel zu erzielen.

Anlagen, bei welchen Ventilatoren die Bewegung der Luft veranlassen oder unterstützen, belegt man in der Praxis mit dem Namen: „Pulsions- oder Drucklüftungsanlagen“.

2. Ableitung verbrauchter Luft. Die einfachste Anordnung besteht wie bei der Zuleitung in einer unmittelbaren Verbindung mit der Aussenluft, doch kann sie ebensowenig wie diese, da die Wirkung eine ganz wechselnde und zum grössten Theile negative ist, empfohlen werden. Ableitung nach einem Nebenraume, Corridor u. s. w., wenn dieser mit der Aussenluft unmittelbar in Verbindung steht, ist nicht

viel besser; nur sofern eine gesicherte Ableitung aus dem Nebenraume erfolgt, kann die Anordnung in manchen Fällen, d. h. wenn die Sammlung verbrauchter Luft im Nebenraume statthaft ist und Schallübertragungen nicht störend wirken, zweckmässig erscheinen.

Als die beste Anlage muss diejenige bezeichnet werden, bei welcher die verbrauchte Luft durch besondere Kanäle in sicherer Weise nach aussen abgeleitet wird. Diejenigen Anlagen, bei welchen die Abluft zur Sicherung des Effekts noch eine besondere Erwärmung erfährt, bezeichnet man mit dem Namen „Aspirationsanlagen“, diejenigen, bei welchen ein Ventilator (Exhaustor) Verwendung findet, zum Unterschiede mit dem Namen: „Saugelüftungsanlagen“.

Fünftes Kapitel.

Anordnung, Ausführung und Bestimmung der einzelnen Theile bezw. Grössen einer Lüftungsanlage.

I. Entnahme der frischen Luft.

(Siehe Tafel II.)

Dieselbe hat an einer vor Wind, Staub, Rauch und Russ möglichst geschützten Stelle zu erfolgen; die Schöpfstelle braucht nicht unmittelbar über Terrain zu liegen, sondern kann auch in irgend einer Höhe des Gebäudes sich befinden. Erwägungen über die beste Anordnung können nicht allgemein erledigt werden, sie sind von Fall zu Fall anzustellen.

Zweckmässig ist es, zwei in entgegengesetzter Richtung liegende Entnahmestellen anzunehmen, um den Einflüssen des Windes durch Benutzung der einen oder der anderen nach Möglichkeit vorbeugen zu können. Die Oeffnung für die eintretende Luft ist vor Eintritt von Regen und Schnee in geeigneter Weise zu schützen, zum Fernhalten von Blättern, Thieren u. s. w. mit Gitterwerk zu versehen. Um bei gewünschter Unterbrechung der Lüftung der Staublagerung in den Kanälen vorzubeugen und eine gemeinsame Regelung des Lufteintritts zu besitzen, erscheint es meist zweckmässig, unmittelbar hinter der Entnahmestelle entsprechende Vorrichtungen (Schieber, Klappe u. s. w.) anzuordnen.

II. Reinigung der Luft.

(S. Tafel II.)

Wenngleich auch Staub durch die Fensterfugen in die Räume eintritt oder derselbe durch das Schuhwerk der Anwesenden eingeführt wird, ist ein Reinigen der Luft nach der Entnahme von aussen stets wünschenswerth. Ausser der Annehmlichkeit über möglichst staubfreie Zuluft zu verfügen, muss die Nützlichkeit des Reinigens in der Reinheit der Luft bei der Berührung mit den heissen Flächen des zur Erwärmung der Luft bestimmten Heizkörpers erblickt werden. Bei 100° Temperatur der Heizflächen bewirken diese ein Freiwerden von Riechstoffen, bei 150° eine trockene Destillation bezw. Verbrennen der organischen Staubtheile der Luft;*) die hierdurch der Luft zugeführten Produkte reizen die Athmungsorgane und erwecken in denselben leicht das Gefühl von Trockenheit.

Die Vorrichtungen zum Reinigen der Luft sind im wesentlichen folgende.

1. Staubkammer. Dieselbe stellt weiter nichts als einen grossen Raum dar, in welchem die Luft eine sehr geringe Geschwindigkeit annimmt und somit dem Staub Zeit lässt, sich vermöge seiner Schwere ablagern zu können. Je grösser die Staubkammern angelegt werden, je besser erfüllen sie ihren Zweck. Dafür, dass die eintretende Luft schnell ihre Geschwindigkeit verliert und nicht kurzer Hand in einem fast geschlossenen Strom durch die Staubkammern fliessen kann, muss naturgemäss Vorsorge getroffen werden. Staubkammern sind für alle Lüftungsanlagen dringend zu empfehlen.

2. Filter. Filter**) haben den Zweck auch die feinen Staubtheilchen, welche in den Staubkammern nicht zur Ablagerung gelangen, auszuscheiden und bestehen in der Lüftungstechnik meist aus Drahtgaze oder Geweben. Je feinmaschiger sie sind, desto besser werden sie ihren Zweck zwar erfüllen, desto grösser ist aber auch der Widerstand, den sie der Luft darbieten. Der Widerstand wächst mit der Gebrauchsdauer, da sich die Maschen zum Theil durch den Staub u. s. w. zusetzen. Die Anordnung der Filter gegen die Luftbewegung hat derartig zu erfolgen, dass die Filterfläche nicht eine Unterlage für Staubansammlung bilden, d. h. dass der Staub, welcher nicht in das Gefüge des Filters unmittelbar eindringt, äusserlich

*) S. Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege, Bd. XIV, Heft 1, Vortrag von v. Fodor.

**) Rietschel, Untersuchungen von Filterstoffen für Lüftungsanlagen; Gesundheits-Ingenieur 1889.

herabfallen kann, die gröberen Theile von selbst, die feineren beim Schütteln oder Klopfen des Filters.

Nach Versuchen des Verfassers wächst der Widerstand, welchen ein Filter der Luftbewegung entgegenstellt, annähernd im Verhältnisse der durchgeführten Luftmenge; die Filterflächen sind daher möglichst gross zu halten. Für die Benutzung der Filter muss angenommen werden, dass das Reinigen derselben erst nach mehrwöchentlichem Betriebe erforderlich wird, also ist auch mit dem sich dann ergebenden Widerstande zu rechnen.

Bedeutet L die durch das Filter stündlich zu führende Luftmenge in cbm, F die Gesammtfläche des Filters in qm, h' die Widerstandshöhe in m, d. h. die Höhe einer Luftsäule in Luft von gleicher Temperatur wie L, welche durch den Widerstand des Filters von der Druckhöhe der äusseren Luft verloren geht, so ist:

$$h' = \frac{mL}{F}. \qquad (11)$$

m ist zu setzen für:

gewöhnliches Nesseltuch (bei ungefähr 25 Faden auf 1 cm Länge) = 0,0015,

Möller'sches Filtertuch (gerauheter Barchent, ungefähr 17 Faden Schuss, 27 Faden Kette auf 1 cm Länge) = 0,024 bis 0,03.

(Der kleinere Werth gilt, wenn eine häufigere, der grössere, wenn eine seltenere Reinigung des Filters stattfinden soll.)

Bei Lüftungsanlagen, welche nur auf Differenz der Temperaturen beruhen, wie solche der Winter mit sich bringt, ergiebt sich die Filterfläche für den nöthigen Luftwechsel meist so gross, dass sie nicht unterzubringen ist; in diesen Fällen muss auf ein Filtern der Luft verzichtet werden. Bei Anwendung von Filtern wird die Anordnung von Staubkammern nicht überflüssig, selbstverständlich hat die Staubkammer vor der Filterfläche zu liegen.

Die leichte Beseitigung der Filtertücher behufs Reinigung ist vorzusehen.

3. Waschen der Luft. Ein gewisses Waschen der Luft findet statt, wenn bei Anwendung von Filtern diese angefeuchtet werden. Die Anordnung ist nicht zu empfehlen, da der Druckverlust sehr gesteigert wird, Gewebefilter leicht faulen und im Winter das Wasser gefriert.

Austritt der Luft in fein vertheiltem Zustande unter Wasser*) erfordert bedeutenden Kraftaufwand und ist nicht zuverlässig, weil nicht alle Staubtheile mit dem Wasser in Berührung kommen. Durchführen der Luft durch einen Wasserstaubregen von bedeutender

*) S. a. Gesundheits-Ingenieur 1880, S. 64.

Ausdehnung ist am zweckmässigsten für das Reinigen, hat aber den Nachtheil, dass sich die Luft nahezu mit Wasser sättigt, auch mechanisch noch Wassertheilchen mit fortführt.

Diese Nachtheile sind zu beseitigen durch Vorrichtungen für Abscheiden des fortgeführten Wassers, die aber jederzeit Widerstände hervorrufen, und durch Ertheilung einer Temperatur der Luft während des Waschens, bei welcher die Luft im gesättigten Zustande nur soviel Wasser enthalten kann, als bei der im Raume geforderten Temperatur in der Luft enthalten sein soll. Gesättigte Luft von etwa 9° C. giebt z. B. auf 20° C. erwärmt, Luft von halbgesättigtem Zustande. Hierauf gestützte Einrichtungen verbinden Waschen mit Befeuchten, erfordern aber 2 getrennte Heizapparate, den einen zur erstmaligen entsprechenden Anwärmung, den zweiten zur Weitererwärmung der Luft auf die vorgeschriebene Temperatur. Die Anordnung ist umständlich und nicht billig im Betriebe, daher selten in Anwendung.

III. Befeuchtung der Luft.

(S. Tafel III.)

Das Befeuchten der Luft kann in den zu lüftenden Räumen selbst oder gemeinsam erfolgen.

Eine örtliche ausgiebige Befeuchtung bereitet meist Schwierigkeit und wird selten angewendet, weshalb sie hier nicht weiter erörtert werden soll.

Bei gemeinsamer Befeuchtung der Zuluft giebt es im wesentlichen:

1. Apparate, abhängig von der Wärme des Heizapparates zur Erwärmung der Zuluft.

a) **Verdunstungsgefässe.** Dieselben stehen meist über dem Heizapparat und bestehen aus flachen mit Wasser gefüllten Gefässen, in denen der Wasserspiegel entweder jederzeit derselbe bleibt oder innerhalb gewisser Grenzen veränderlich gehalten werden kann; letztere sind vorzuziehen.

Der Wasserstand muss ausserhalb der Heizkammer kenntlich und ergänzbar sein. Für bequeme und öftere Reinigung und für Möglichkeit des Abflusses ist Sorge zu tragen. Derartige Verdunstungsgefässe sind abhängig vom Wärmebedarfe in den Räumen d. h. vom Heizbetriebe, die Nothwendigkeit der Befeuchtung aber von dem Feuchtigkeitsgehalte der äusseren Luft; beides deckt sich nur in weiten Grenzen.

b) **Zerstäubungsapparate.** Dieselben beruhen auf dem Zerstäuben eines sehr dünnen mit grosser Geschwindigkeit gegen eine feste Fläche geführten Wasserstrahls (Wasserleitung).

Sie lassen jeden Grad der Befeuchtung zu, geben daher leicht bei Unaufmerksamkeit der Bedienung zu grosse Feuchtigkeit; der Heizapparat bezw. die an demselben erwärmte Luft hat die Aufgabe das zerstäubte Wasser in Dampfform überzuführen.

Die Apparate erhalten Fangschalen mit Ableitung zum Auffangen bezw. Abführen des Tropfwassers. Vorsichtige Aufstellung zur Vermeidung ungleicher Vertheilung des Wassers ist geboten. Die kleinen Oeffnungen der Düsen setzen sich leicht zu und erfordern daher öftere Reinigung, somit Aufmerksamkeit in der Bedienung. Bei einer grösseren Anzahl Düsen sind dieselben gruppenweise absperrbar einzurichten, auch ist auf eine derartige Anordnung der Düsen zu achten, dass auch bei Absperrung einzelner Gruppen eine gleichmässige Befeuchtung der Luft bestehen bleibt.

2. Apparate, unabhängig von der Wärme des Heizapparates für Erwärmung der Zuluft. Die Hauptsächlichsten sind folgende:

a) **Besonders geheizte Verdunstungsgefässe.** Dieselben finden in der Praxis wegen Umständlichkeit im Betriebe selten Anwendung.

b) **Dämpfer.** Dieselben bestehen aus Gefässen, angefüllt mit kleinen Steinen, Glaskugeln u. s. w., durch welche Dampf mit ganz geringer Geschwindigkeit geleitet wird. Sie sind nur anwendbar bei vorhandener Dampfleitung. Der austretende Dampf giebt der Luft leicht einen unangenehmen Geruch, daher ist die Anwendung nicht sonderlich zu empfehlen.

c) **Apparate zur Verdampfung von Wasser durch Dampfheizkörper.** Diese Apparate sind als die besten zu bezeichnen, jedoch nur bei vorhandenem Dampf für andere Zwecke anzuwenden.

Die Verdampfung erfolgt in Gefässen, in denen meist geneigte Dampfröhren liegen. Je nach dem Wasserstand befindet sich viel oder wenig Wasser in Berührung mit den Dampfröhren, so dass jeder Grad der Verdampfung erzielt werden kann. Das in den Dampfröhren sich bildende Niederschlagswasser ist abzuleiten.

3. Bestimmung der erforderlichen Wassermenge. Bedeutet L den stündlich geforderten Luftwechsel in cbm, gegeben in der Raumtemperatur t° in Kopfhöhe, p_0 den anzunehmenden Procentsatz der absoluten Sättigung der äusseren Luft von der niedrigsten Temperatur t_0, bei welcher der volle Lüftungseffekt erzielt werden soll, p den gewünschten Procentsatz der Sättigung der Innenluft, g_0 den Wassergehalt eines cbm Luft von der Temperatur t_0 bei voller Sättigung in kg, g denjenigen eines cbm Luft von t° bei voller Sättigung, A die erforderliche Menge Wasser in kg, welche zu verdampfen ist, so setze man:

$$A = \frac{L}{100}\left(p\,g - p_0\,g_0\,\frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t}\right). \qquad (12)$$

In der Regel kann $p_0 = 80$ und $p = 50$ (s. S. 6) angenommen werden. (Bezüglich g und g_0 siehe Tabelle 1.)

IV. Trocknung der Luft.

Die Nothwendigkeit der Entziehung von Feuchtigkeit der Luft tritt im Sommer bei Kühlanlagen hervor; sie soll daher mit diesen behandelt werden.

V. Mittel zur Bewegung der Luft.

Dieselben bestehen in der Erwärmung oder Kühlung der inneren Luft, oder in Benutzung von Druck- oder Saugapparaten.

Eine Kühlung der inneren Luft zu Zwecken der Luftbewegung findet kaum in der Praxis Verwendung, so dass dieselbe hier umsomehr übergangen werden kann, als das Weitere bei dem Kapitel „Kühlung geschlossener Räume“ Besprechung findet.

1. **Erwärmung der Luft.** (S. Tafel IV.)

a) **Einrichtungen zur Erwärmung.** Die Erwärmung der inneren Luft muss, sofern sie Zuluft ist, an Heizkörpern erfolgen, welche eine Güteverminderung derselben ausschliessen; für die Abluft braucht diese Forderung nicht gestellt zu werden.

Die Erwärmung der Zuluft ist für die Bewegung der Luft in den senkrechten Kanälen um so wirksamer, je tiefer dieselbe gegen die zu lüftenden Räume erfolgt; die Erwärmung im Keller ist daher vor der Erwärmung in den zu lüftenden Räumen an und für sich vorzuziehen. Ueber die Heizkörper für die Erwärmung der Zuluft siehe Abschnitt „Heizung“.

Die Erwärmung der Abluft (Aspirationsanlagen) findet entweder wie bei der Zuluft durch Heizkörper statt, oder unter Benutzung der Wärme abziehender Rauchgase an Schornsteinwandungen, ferner durch Gasflammen oder direktes Feuer. Bei Benutzung der Wärme abziehender Rauchgase für Erwärmung der Abluft einzelner Kanäle wird in der Regel der Abluftkanal neben den betreffenden Schornstein gelegt und die Wange zwischen beiden aus einer Eisenplatte hergestellt, dagegen bei gemeinsamer Erwärmung der Abluft der Schornstein einer vorhandenen Centralheizung oder derjenige einer besonderen Feuerung (Lockfeuerung) in Form eines gusseisernen Rohres ausgebildet und in den Schacht für Ableitung der Luft über Dach eingebaut. Die Erwärmung der Abluft, also auch der Effekt der Anlage hängt bei Verwendung der Rauchgase einer vorhandenen Centralheizung von dem jeweiligen Wärmebedarf in den erwärmten Räumen ab. Die Erwärmung der Abluft durch ein offenes Feuer ist wegen der Möglichkeit des Rückschlagens von Rauch und Russ nicht zu

empfehlen, diejenige durch Gas des theuren Betriebs halber hauptsächlich nur bei Einzelkanälen in Verwendung. Alle selbstständigen Lockfeuerungen sind zu vermeiden, sofern nicht eine spätere gewissenhafte Benutzung derselben vorausgesetzt werden kann, ebenso alle mittelbar wirkenden Einrichtungen, sofern der Luftwechsel jederzeit der gleiche sein soll.

b) **Annahme oder Bestimmung der verschiedenen Temperaturen.**

α) Die höchste und niedrigste Temperatur der äusseren Luft, bei welchen der erforderliche Luftwechsel erzielt werden soll.

Die Wahl derselben hat unter Berücksichtigung der Bestimmung der Räume zu erfolgen.

Die höchste äussere Temperatur ist im allgemeinen anzunehmen zu:

+ 25°, sofern der Luftwechsel durch die Anlage sowohl im Winter, als im Sommer erzielt werden soll. (Mehrstöckige Krankenhäuser, Theater, Parlamente u. s. w.)

+ 10°, sofern nur während der Heizperiode die volle Lüftung verlangt wird. (Einstöckige Krankenhäuser, Schulen, Gerichtsgebäude, Gesellschafts-, Concert-, Versammlungs-, Verhandlungs-, Kassenräume u. s. w.)

0° bis 5°, sofern die volle Lüftung nur durchschnittlich im Winter erzielt zu werden braucht. (Wohnräume, gering besetzte Bureauxräume u. s. w.)

Die höchste äussere Temperatur ist, sofern die Räume nicht gleichzeitig durch die einzuführende Luft erwärmt werden (Luftheizung), jederzeit der Berechnung der Kanalanlage zu Grunde zu legen. Bei Luftheizung ist die Temperatur für die Kanalberechnung nicht unbedingt gleich der höchsten äusseren Temperatur zu setzen, bei welcher der volle Luftwechsel erzielt werden soll. Die Bestimmung der betreffenden Temperatur erfolgt nach Kapitel 17, II, 5.

Die niedrigste äussere Temperatur ist jederzeit massgebend für die Grössenverhältnisse des Heizapparates behufs Erwärmung der Zuluft.

Soll der volle Luftwechsel auch an den kältesten Wintertagen erzielt werden oder wird die Erwärmung der Räume an den Luftwechsel geknüpft, so ist die Temperatur gleich der niedrigsten äusseren Temperatur, für welche die Heizanlage bestimmt ist, anzunehmen (— 20 bis — 25°). Da jedoch sehr selten die niedrigste äussere Temperatur anhaltend eintritt, kann für diese Fälle, mit Ausnahme bei Luftheizung, meist eine Beschränkung des Luftwechsels zugelassen und daher als niedrigste äussere Temperatur für die Lüftungsanlage — 10° in Ansatz gebracht werden.

β) Die Temperatur des zu lüftenden Raumes. Für dieselbe ist gemessen in einer Höhe von etwa 1,5 m über Fussboden (Kopfhöhe) anzunehmen für:

Wohn- und Geschäftsräume	+ 20° C.
Säle und Auditorien	18° „
Schlafräume	15° „
Corridore, Flure, Treppenhäuser (je nach Benutzung)	12 — 18° „
Baderäume für warme Bäder	22° „
Gefängnissräume zum Aufenthalt von Gefangenen bei Tage	18° „
Gefängnissräume zum Aufenthalt von Gefangenen bei Nacht	10° „
Treibhäuser	25° „
Kalthäuser	15° „
Kirchen	10 — 12° „

In grösserer Höhe als angegeben, besonders unter der Decke, herrscht, wenn der Raum geheizt ist, eine gesteigerte, über dem Fussboden meist eine etwas geringere Temperatur.

In der Praxis kann alsdann bis zu einer Höhenlage von 3 m, vom Fussboden an gerechnet, die Temperaturzunahme vernachlässigt, über 3 m die Temperatur bei vollem Heizbetriebe im Mittel aber gesetzt werden:*)

$$t'' = t + 0{,}1\, t\,(h - 3), \text{ jedoch } t'' \text{ höchstens } 1{,}5\, t, \qquad (13^a)$$

von etwa + 10° Aussentemperatur an gerechnet ohne Beleuchtung:

$$t'' = t + 0{,}03\, t\,(h - 3), \qquad (13^b)$$

worin bedeutet:

t die aus der obigen Aufstellung entnommene Temperatur in Kopfhöhe,

h die Höhenlage vom Fussboden an gerechnet.

Bei vorhandener Gasbeleuchtung ist unter *h* die Höhe vom Fussboden bis zur Gasbeleuchtung zu verstehen; die Temperatur über dieser ist diejenige, welche nach Früherem (s. S. 12) zur Bestimmung des Luftwechsels für den Raum über der Gasbeleuchtung angenommen wurde.

γ) Die Temperatur der Zuluft. Sofern die Zuluft den zu lüftenden Raum weder zu erwärmen noch zu kühlen hat, ist die Temperatur derselben die gleiche, welche im Raume herrschen soll.

---

*) S. a. H. Fischer, Heizung und Lüftung der Räume; Handbuch der Architektur 1891.

Sofern die Zuluft dem zu lüftenden Raume Wärme entziehen soll, ist ihre für die Berechnung der Kanalanlage in Frage kommende Temperatur:

$$t' = t - \frac{W(1 + \alpha t)}{0{,}306\, L}, \qquad (14)$$

worin bedeutet:

t die verlangte Temperatur in Kopfhöhe,
W die der Raumluft bei der angenommenen höchsten Aussentemperatur abzunehmende Wärme,
L der stündliche Luftwechsel des Raumes in cbm, ausgedrückt in der Temperatur t.

Als niedrigste zulässige Einströmungstemperatur bei benutzten Räumen ist je nach Lage, Vertheilung und Art der Einströmung $t' = 15$ bis $17°$ zu setzen.

Sofern die Zuluft dem zu lüftenden Raume Wärme zuführen soll (Luftheizung), ist die für die Berechnung der Kanalanlage in Frage kommende Temperatur nach Kapitel 17, II, 5 zu bestimmen.

Die höchste zulässige Einströmungstemperatur, welche also nicht für Berechnung der Kanalanlage, sondern lediglich für diejenige des Luftwechsels bei Erwärmung der Räume durch die Zuluft behufs Grössenbestimmung des Heizapparates in Frage kommt, soll während der Benutzung der Räume $t' = 36$ bis $40°$, bei Feuerluftheizung vor Benutzung der Räume $t' = 50°$ nicht übersteigen.

δ) die Temperatur der Abluft. Die Temperatur der unmittelbar aus dem Raume abziehenden Luft ist die in der betreffenden Höhenlage des Raumes herrschende (s. d.).

Soll zur Sicherung oder Erhöhung des Lüftungseffekts die Abluft noch besonders erwärmt werden, so kann die Temperatur angenommen werden, sofern die Grössenbestimmung der Kanalquerschnitte nach Massgabe der baulichen Verhältnisse in das Ermessen des Konstrukteurs gestellt wird; dürfen dagegen die Kanalquerschnitte bestimmte Grössen nicht überschreiten, so muss die Temperatur berechnet werden. Dieser letzte Fall wird erst später bei Berechnung der Kanäle Erörterung finden.

Bei dem ersten Falle kann die Annahme einer bestimmten Temperatur unmittelbar oder, wenn die Wärmequelle nach Grösse und Leistung vorgeschrieben ist, nur mittelbar erfolgen. In letzter Beziehung ist besonders diejenige Anordnung hervorzuheben, bei welcher sich die Luft in dem Abzugskanal an einer in demselben aufsteigenden eisernen Schornsteinfläche, also nicht an einer Stelle, sondern allmählich erwärmen soll. Alsdann müssen für den Beharrungszustand die Wärmeabgabe der die Wärme abgebenden

Rauchgase, die Wärmeabgabe der Schornsteinfläche an die Abluft und die Wärmeaufnahme der Abluft einander gleich sein.

Bedeutet:

W die Wärmemenge, welche die Rauchgase abgeben, die Schornsteinfläche überführen und die Abluft aufnehmen muss,

f die Wärme abgebende Fläche des Schornsteins in qm,

ϑ_1 die Temperatur der Rauchgase bei Eintritt in den Schornstein,

ϑ_2 die Temperatur der Rauchgase bei Austritt aus dem Schornstein,

G das Gewicht der Rauchgase von 1 kg Brennmaterial in kg,

p die Menge des stündlich verbrauchten Brennmaterials in kg,

c die specifische Wärme der Rauchgase,

L den stündlich geforderten Luftwechsel in cbm und Luft von der Temperatur t,

Δ_1 die Temperatur der Luft bei Beginn der Erwärmung,

Δ_2 die Temperatur der Luft am Ende der Erwärmung,

k die stündliche Wärmeabgabe von 1 qm Wärmefläche bei einem Grad Temperaturunterschied,

so ist:

die Wärme, welche die Rauchgase abgeben:

$$W = Gpc(\vartheta_1 - \vartheta_2), \qquad (15^a)$$

die Wärme, welche der Schornstein abgiebt (mit genügender Genauigkeit):

$$W = kf\left(\frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} - \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right), \qquad (15^b)$$

die Wärme, welche die Luft aufnimmt:

$$W = \frac{0{,}306\,L}{1 + \alpha t}(\Delta_2 - \Delta_1). \qquad (15^c)$$

c ist der Aufstellung im siebenten Kapitel, I zu entnehmen.

Zur Anwendung dieser Gleichungen ist für die Praxis Folgendes zu sagen.

Ist zu Zwecken der Erwärmung der Abluft eine besondere Feuerung vorhanden, deren Rauchgase durch ein nur dieser Feuerung angehörendes, innerhalb des Abluftschachts liegendes Rauchrohr abgeleitet werden, so empfiehlt sich ϑ_1 und ϑ_2 (ϑ_1 zu etwa 1200°, ϑ_2 zu etwa 80—100°) anzunehmen und zunächst p aus Gleichung 15^a zu berechnen. Aus p folgt der lichte Durchmesser des Rauchrohres (s. später), aus diesem der äussere und somit die glatte Heizfläche des

Rauchrohres. Wird diese gleich f gesetzt, so berechnet sich, da Δ_1 bekannt ist, Δ_2 aus Gleichung 15^b und 15^c; wird dagegen Δ_2 angenommen, so ergiebt sich ein f, welches meist kleiner oder grösser als die wie vor bestimmte glatte Heizfläche des Rauchrohres sein wird. Im ersten Falle ist der Schornstein zum Theil vor Wärmeabgabe zu schützen, im zweiten dagegen ist statt einer glatten eine ganz oder zum Theil gerippte Aussenfläche des Schornsteins anzunehmen.

k setze man bei glatter eiserner Fläche 8—9, bei gerippter 6—7.

Erfolgt die Erwärmung der Abluft durch die Wärme der abziehenden Rauchgase einer zu anderen Zwecken bestimmten, aber stets gleich wirkenden Feuerungsanlage (Dampfkessel für Gewerbebetrieb, Küchenfeuerung, sofern nur während des Kochens gelüftet werden soll etc.), so empfiehlt es sich nur ϑ_1 und f anzunehmen, ϑ_2 und Δ_2 zu berechnen; alle übrigen Werthe sind gegeben.

Wird das Rauchrohr einer vorhandenen Heizanlage als eiserne Heizfläche durch den Abluftschacht hindurchgeführt und dasselbe bei den höheren Aussentemperaturen durch die Rauchgase einer besonderen Feuerung (Lockfeuerung) erwärmt, so ist stets das Rauchrohr für die Rauchgase des Lockfeuers zu weit, insofern dieselben wärmer in den Schornstein eintreten, als die ausgenutzten der vorhandenen Heizanlage. Um Zugstörungen zu vermeiden, empfiehlt es sich ϑ_1 und ϑ_2 anzunehmen und zwar ebenso hoch als die Rauchgase der Heizanlage bei der niedrigsten Aussentemperatur in den Schornstein treten, und damit diese Annahme erfüllt werden kann, das Brennmaterial der Lockfeuerung mit einem entsprechenden Ueberschuss an Luft zu verbrennen. Alsdann wird entweder f angenommen und Δ_2 aus den Gleichungen 15^b und 15^c berechnet oder umgekehrt. Aus f bestimmt sich, da der Durchmesser des Rauchrohres bekannt ist, ob glatte oder gerippte Heizfläche anzuwenden ist. Um die Menge Brennmaterial p' zu bestimmen, welche in der Lockfeuerung stündlich zu verbrennen ist, dient dann die Gleichung:

$$p' = \frac{p(c\vartheta_1 - 0{,}237\,t_0)}{c\vartheta' - 0{,}237\,t_0} \qquad (16)$$

worin bedeutet:

- p die Menge Brennmaterial in kg, welche die vorhandene Heizanlage stündlich bei der niedrigsten Aussentemperatur erfordert,
- t_0 die Temperatur der Luft, welche als Ueberschuss in das Rauchrohr geschickt wird, also meist die Temperatur im Heizraum,
- ϑ' die Temperatur, mit welcher die Heizgase die Lockfeuerung ohne Luftüberschuss verlassen würden (etwa 1200°).

Die übrigen Grössen haben die frühere Bedeutung.

Soll die Luftmenge Q in kg von der Temperatur t_0 berechnet werden, welche als Ueberschuss der Lockfeuerung zuzuführen ist, so dient die Gleichung:

$$Q = G(p - p'). \qquad (17)$$

Sind die Temperaturen Δ_1 und Δ_2 angenommen bezw. berechnet, so ergiebt sich die für die Berechnung der wirksamen Druckhöhe im Abluftschacht herrschende Temperatur zu $\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$.

Im allgemeinen kann angenommen werden, dass bei einer mittleren Temperatur im Abluftschacht von etwa 40° zweckentsprechende Verhältnisse erzielt werden. Bei erforderlicher höherer Temperatur wird der Betrieb häufig zu kostspielig. (Vergl. Kapitel 6, II, b.)

2. Druck- oder Saugeapparate. (S. Tafel IV, V und VI.)

a) **Apparate zur Nutzbarmachung des Winddrucks.** Im allgemeinen kann mit der Kraft des Windes zur Erhöhung des Effekts bei Lüftungsanlagen nicht gerechnet werden, weil stets für den ungünstigsten Fall — also auch bei Windstille — der geforderte Luftwechsel erzielt werden muss. So haben die zur Zeit vorhandenen Konstruktionen, sofern dieselben zur Zuführung von Luft dienen (Pressköpfe) nur Werth, wenn der Effekt ein wechselnder sein darf oder wenn sie für bewegte Räume (Eisenbahnwagen, Schiffe) Anwendung finden. Diejenigen Apparate, welche für die gesicherte Abführung der Luft aus den Abluftkanälen in der Praxis vielfach und häufig ohne Zweck Benutzung finden (Sauger, Saugkappen, Deflektoren), sind nur als Abdeckung von solchen Kanälen anzuwenden, bei welchen ein in Folge Ablenkung des Windes an benachbarten Körpern hervorgebrachter und der Luftbewegung im Kanal entgegen wirkender Oberwind störenden Einfluss auf die Luftbewegung gewinnen kann. Diesen Oberwind für den Kanal in Unterwind umzusetzen, ist die Aufgabe der Deflektoren. Bei Unter- oder horizontalem Winde ist die Saugkraft desselben grösser, wenn keine Deflektoren vorhanden sind. Für freistehende und durch die Umgebung in der angedeuteten Weise nicht beeinflusste Kanäle (Schornsteine) sind daher Deflektoren unnöthig. Zum Schutz gegen Sonne, Regen und Schnee, wenn dieser überhaupt erforderlich erscheint, kann alsdann ein einfaches in entsprechender Entfernung von der Kanalmündung angebrachtes Dach dienen.

b) **Ventilatoren.**

α) Strahlapparate. Dieselben werden betrieben durch Druckwasser (Wasserleitung), Dampf oder Druckluft. Diejenigen mit Wasserbetrieb bringen nur geringe Druckhöhen bei verhältnissmässig

grossem Verbrauche an Wasser hervor und arbeiten meist nicht geräuschlos, so dass sie keine Empfehlung verdienen.

Dampfstrahlapparate sind nur zum Absaugen zu gebrauchen und verursachen bedeutendes Geräusch, so dass dieselben nur in einzelnen Fällen des Gewerbebetriebs, nicht aber für Wohnräume u. s. w. Anwendung finden können. Druckluft-Strahlapparate bedingen Verfügung über Druckluft, sind daher bislang als beliebig anzuwendende Apparate nicht anzusehen. Bei Ausbreitung der Druckluftanlagen werden sie vielleicht einen bevorzugten Platz in der Reihe der Druck- und Saugeapparate für Lüftungszwecke einnehmen.

β) Schraubenventilatoren. Dieselben werden ausgeführt für Wasserbetrieb oder Maschinenbetrieb.

Die Schraubenventilatoren mit Wasserbetrieb (Aërophor von Treutler & Schwarz, Kosmos-Ventilator von Schäffer & Walcker u. s. w.) werden durch die Kraft des Stosses unter Druck ausfliessenden Wassers bewegt. Bei den in den Preislisten als Lieferung angegebenen Luftmengen bei freiem Ausblasen ist die Druckhöhe eine sehr geringe, meist weniger, aber selten mehr als 0,4 m Luftsäule in Luft von 0°; sie sind daher nur bei kurzen und im Querschnitte weiten Kanalstrecken anzuwenden. Mitunter können sie für Aborträume, Küchen u. s. w. passende Verwendung finden, da alsdann das abfliessende Wasser noch zu weiteren Zwecken zu benutzen ist.

Zur Anschauung des Gesagten diene die Leistung des Drucklüfters „Aërophor" von Treutler & Schwarz.

Durchmesser des Luftrohres in m	Stündliche Luftmenge in cbm	Wasserverbrauch von 3—4 Atm. in cbm
0,22	360 — 400	0,08 — 0,13
0,32	700 — 800	0,19 — 0,22
0,40	1 100 — 1 200	0,23 — 0,25
0,52	1 600 — 1 800	0,30 — 0,35
0,80	4 500 — 5 000	0,55 — 0,60

Schraubenventilatoren mit Maschinenbetrieb werden gefertigt in Durchmessern bis etwa 3 m und sind die in der Lüftungstechnik für häusliche Zwecke am meisten angewendeten. Die Umfangsgeschwindigkeit soll möglichst nicht über 1500 m in der Minute gesteigert werden, weil sonst störendes Geräusch (Brummen) verursacht wird. Bauart verschieden, häufig angewendete Schraubenventilatoren sind diejenigen von Schiele und Blakman.



Ventilatoren von Schiele:

Flügeldurchmesser in m	Umdrehung in der Minute	Luftmenge in cbm in der Stunde
0,3	2 000	2 400
0,4	1 500	3 900
0,5	1 200	6 300
0,65	900	11 400
0,80	800	16 860
1,0	600	27 600
1,2	500	39 000
1,5	400	60 000
2,0	300	108 000
2,5	230	171 000
3,0	200	249 000

Ventilatoren von Blakman:

Flügeldurchmesser in m	Auslassfläche in qm	Umdrehung in der Minute	Luftmenge in cbm in der Stunde
0,46	0,162	1 000	4 500
0,61	0,288	780	8 240
0,92	0,651	520	18 680
1,22	1,162	390	33 170
1,53	1,822	310	51 890
1,83	2,622	260	74 880

γ) Flügelventilatoren. Dieselben werden für Flügeldurchmesser bis etwa 1 m gefertigt. Umfangsgeschwindigkeit nicht über 2000 m in der Minute zu steigern. Anwendung finden sie bei erforderlichen grösseren Druckhöhen.

Ventilatoren von Schiele:

Durchmesser des Flügels in m	Durchmesser der Ausblaseöffnung in m	Umdrehung in der Minute	Luftmenge in cbm in der Stunde
0,27	0,125	3 000	1 200
0,32	0,150	2 500	1 800
0,40	0,200	2 300	2 700
0,50	0,250	1 500	4 200
0,65	0,320	1 250	7 200
0,80	0,400	1 100	10 800
1,00	0,500	750	16 800

δ) Bestimmung der Grösse eines Ventilators. Für die Wahl der Grösse irgend eines Ventilators diene Folgendes.

Ist L die stündlich in t° geforderte Luftmenge in cbm, L_0 die in den Preislisten angegebene stündliche Luftmenge bei freiem Ausblasen, F der Querschnitt der Ausblaseöffnung der Luft in qm, M die Druckhöhe, welche der Ventilator für die betreffende Anlage leisten muss, ausgedrückt in der Höhe einer Luftsäule von 0° in m, so wähle man diejenige Grösse des Ventilators, bei welcher sich ergiebt:

$$\frac{L}{1+\alpha t} \leqq \frac{0{,}00001\, L_0^3}{2540\, F^2 M}. \qquad (18)$$

Die Ventilatoren für gemeinsame Luftbeförderung werden am besten hinter dem Filter bezw. der Staubkammer angeordnet.

Für die Betriebskraft in Pferdestärken dient die Gleichung:

$$N = \frac{0{,}0000048\, LM}{\eta\,(1+\alpha t)}, \qquad (19)$$

wenn η der Wirkungsgrad des Ventilators bedeutet; derselbe ist meist — je nach der Ausführung — 0,25 bis 0,40 zu setzen und von dem Verfertiger anzugeben.

VI. Kanäle.

(S. Tafel VII.)

1. Anordnung der Zuluft-Kanäle.

a) **Führung der Kanäle für Zuluft.** Von der Entnahmestelle aus ist die Luft durch die Staubkammer und sofern Filter und Druckventilator vorgesehen sind, durch diese auf möglichst kurzem Wege nach der Heizkammer zu leiten. Der Eintritt in dieselbe und Führung durch dieselbe an dem Heizapparate vorüber hat derart zu geschehen, dass eine möglichst gleichmässige Erwärmung der Luft erfolgt. Nach der Erwärmung findet in der Regel die Befeuchtung der Luft statt und alsdann unter der Decke der Heizkammer die Abgabe nach den einzelnen aufsteigenden Kanälen. Bei Anlagen mit den gewöhnlichen Temperaturen ohne besondere Erwärmung der Abluft müssen die aufsteigenden Kanäle möglichst in unmittelbarer Nähe der Heizkammer beginnen. Wie weit eine horizontale Führung der Luft von der Heizkammer nach den aufsteigenden Kanälen statthaft ist, kann nur die Berechnung ergeben. Erfolgt Führung nach Gutdünken, so kommt es häufig vor, dass weit abliegende Kanäle nicht nur keine Luft zugeführt erhalten, sondern rückläufige Bewegung der Luft hervorrufen.

Liegt der Wunsch vor, weiter abliegende Räume an die Lüftung anzuschliessen, so kann derselbe dadurch erfüllt werden, dass die

erforderliche horizontale Kanalführung nicht von der Heizkammer abzweigt, sondern in die Höhe des zu lüftenden Raumes verlegt wird, von der Heizkammer aus aber der steigende Kanal unmittelbar beginnt.

Soll die Möglichkeit erzielt werden, den einzelnen Räumen verschieden warme Luft zuführen zu können, so ist es am zweckmässigsten die aufsteigenden Kanäle rückwärts zu verlängern, sie mit dem unter dem Heizapparate liegenden Kanal für Zuführung frischer Luft zu verbinden und mit einer ausserhalb der Heizkammer zu regelnden Wechselklappe zu versehen, welche gestattet nur erwärmte, kalte oder gemischte Luft in die Kanäle eintreten zu lassen.

Steht zur Bewegung der Luft ein grösserer Ueberdruck zur Verfügung (Druck- und Sauge- bezw. Aspirationslüftung), so ist die Horizontalführung der Kanäle nicht in so enge Grenzen gebannt. Es werden dann meist von der Heizkammer aus horizontale mit den aufsteigenden Kanälen in Verbindung stehende Vertheilungskanäle angeordnet.

Bei grösseren Anlagen wird zweckmässig vor Vertheilung der Luft zunächst hinter der Heizkammer eine Mischkammer angelegt, in welcher durch Einführen frischer Luft eine genaue Herstellung der erforderlichen Temperatur erzielt werden kann.

Auf richtige Mischung der kalten und warmen Luft ist zu achten und durch geeignete Vorrichtungen herbeizuführen; wenn möglich trete die kalte Luft über der warmen in die Mischkammer ein.

Bei jeder Zuluftanlage, bei welcher die Luftbewegung nicht durch die Wirkung der Abluftanlage bedingt wird (s. später), empfiehlt es sich an einer passenden Stelle jeden aufsteigenden Einzelkanal mit einer Regelungsvorrichtung zu versehen, welche nach Fertigstellung der Anlage mit Hülfe anemometrischer Messungen dem geforderten Effekte entsprechend unveränderlich eingestellt wird.

Alle aufsteigenden Kanäle sind möglichst senkrecht und vor Wärmeübertragung geschützt (am besten in Mittel- oder Scheidewänden) anzulegen und mit beliebig verstellbaren Regelungsvorrichtungen zu versehen.

Ob die Letzteren in den einzelnen Räumen selbst oder an anderer Stelle angebracht werden sollen, muss von Fall zu Fall unter Berücksichtigung einer einfachen Bedienung derselben entschieden werden.

b) **Einströmung der Luft in die Räume.** Im wesentlichen sind 2 Fälle zu unterscheiden: die einströmende Luft ist kühler oder wärmer als die in dem zu lüftenden Raume befindliche. Im ersten Falle wird sie um so leichter Zugerscheinungen hervorrufen, je kühler sie ist und je niedriger die Einströmungsöffnung sich befindet, im zweiten Falle kann sie durch das Mitreissen von Raumluft Zug-

erscheinungen verursachen, wenn die Eintrittsgeschwindigkeit gross und die Einströmungsöffnung tief gelegen ist. Eine grosse Eintrittsgeschwindigkeit muss an sich vortheilhaft erscheinen, da durch dieselbe eine rasche Vertheilung der Luft im Raume erfolgt und eine gleichmässigere Temperatur an allen Stellen des Raumes erzielt wird. Als Grundsatz ist daher anzunehmen, dass die Einströmung der Luft unter der Decke mit grosser Geschwindigkeit (etwa 2 m) die vortheilhafteste Anordnung bildet. Bei Eintritt der Luft unmittelbar unter und nahezu parallel mit der Decke adhärirt die Luft an derselben und breitet sich daher vor dem Herabsinken zweckentsprechender aus. Zur gleichmässigen Wärmevertheilung im Winter ist es ausserdem noch vortheilhaft den Lufteintritt über einem Heizkörper stattfinden zu lassen.

Von dem aufgestellten Grundsatze ist jedoch in manchen Fällen abzuweichen.

Soll die Luft gleichzeitig einen am Tage oder bei elektrischer Beleuchtung benutzten Raum erwärmen, so ist hauptsächlich in Folge der Durchlässigkeit der Wände die Erwärmung schneller und sicherer bei Eintritt der Luft unmittelbar über Fussboden unter seitlicher und möglichst lebhafter Ausströmung zu erzielen. Keinesfalls darf die ausströmende Luft aber die Anwesenden treffen; bei besonders hohen, selten benutzten, aber zahlreich besuchten Räumen empfehlen sich daher Lufteinströmungen sowohl über Fussboden, als unter der Decke, von denen die ersteren zum Anheizen, die letzteren während der Benutzung des Raumes zu Lüftungszwecken in Betrieb genommen werden.

Bei Kirchen muss zu Heizzwecken die Lufteinströmung stets niedrig angenommen werden, da eine hohe Lufteinströmung keine günstigen Ergebnisse liefern würde.

In Räumen von mässiger Höhe, bei denen nur eine Einströmung vorgesehen werden soll, ist dieselbe für Erwärmungszwecke an und für sich ebenfalls am besten niedrig anzuordnen. Da aber alsdann meist Belästigungen für die Anwesenden nicht auszuschliessen sind, ordnet man sie in der Praxis 2 bis 2,5 m über Fussboden an. Für Einführung kühler Luft bei eintretendem Bedarfe sind diese Kanäle aber dann nicht mehr zu benutzen.

Ist Gasbeleuchtung vorhanden, so wäre es unrichtig durch Einströmen der Luft unter der Decke mit grosser Geschwindigkeit die Gasluft mit der Raumluft in innige Mischung zu bringen. In solchen Fällen wird die Gasluft, sofern nur Mitten-Beleuchtung (Concertsäle u. s. w.) vorhanden ist, möglichst kurzer Hand abzuführen und die reine Luft in sehr vertheiltem Zustande mit geringer Geschwindigkeit an der Decke oder auch tiefer, selbst über Fussboden einzuführen

sein, sofern aber auch viel Seitenbeleuchtung vorgesehen ist (Theater u. s. w.), muss die Luftbewegung nur von unten nach oben erfolgen. Auch bei eingebauten vor Wärmeabgabe geschützten Räumen wird es häufig selbst bei Abwesenheit von Gasbeleuchtung erforderlich werden, die Luftbewegung von unten nach oben zu bewirken, sofern sich in den Räumen eine grosse Anzahl Menschen befindet und für Lüftung von oben nach unten zur Einhaltung einer nicht zu hohen Temperatur in den Räumen eine zu bedeutende Luftmenge nöthig sein würde. Die Geschwindigkeit der eintretenden Luft in der Nähe von Personen soll 0,3 m nicht über-, aber möglichst unterschreiten.

Eine grosse Eintrittsgeschwindigkeit ist naturgemäss im wesentlichen von dem zur Verfügung stehenden Ueberdrucke abhängig, kann daher nur bei Druck- und Saugelüftung vorgeschrieben werden.

Nach dem Mitgetheilten ist ersichtlich, dass der Eintritt der Luft von Fall zu Fall erwogen werden muss; die richtige Wahl ist von der grössten Bedeutung für den angenehmen Aufenthalt in den betreffenden Räumen.

2. Anordnung der Abluftkanäle.

a) Abströmung der Luft aus den Räumen. Im allgemeinen ist anzunehmen, dass lediglich bei Lüftung der Räume die Abströmung in senkrechter Beziehung der Einströmung entgegengesetzt angeordnet werden soll. Entgegengesetzte Richtung findet auch statt, wenn Gasluft an der Decke kurzer Hand abgeführt wird und die frische Luft seitlich fein vertheilt mit geringer Geschwindigkeit in der Nähe der Decke eintritt, weil alsdann zunächst der Haupttheil der frischen Luft, d. h. derjenige, welcher in das Bereich der Anwesenden gelangt, langsam an den Seitenwänden herabsinkt.

Für den Fall, dass Warmhaltung des Raumes in Frage steht, ist jederzeit unbeschadet der Höhe des Lufteintritts die Luft über Fussboden abzuleiten. Wenn bei Anwesenheit einer grossen Anzahl Personen oder in Folge der Beleuchtung auch zeitweise Wärmeableitung erforderlich ist, werden meist Luftableitungen sowohl am Fussboden, als an der Decke vorgesehen. Gewöhnlich stehen die zwei Ableitungen mit nur einem Kanal in Verbindung, häufig, besonders bei Gasbeleuchtung erscheint aber auch getrennte Kanalführung sehr erwünscht, um zu gleicher Zeit über Fussboden und unter der Decke Luftabnahme bewirken zu können. Die Angabe, welcher man in der Praxis häufig begegnet, dass die unter Decke befindlichen Abluftöffnungen hauptsächlich für Ableitung der Luft im Sommer („Sommerlüftung") bestimmt sind, entspringt einer irrigen Auffassung.

Die Abluftöffnungen sind möglichst vertheilt anzulegen und sofern Personen in der Nähe sich aufhalten, so gross zu machen, dass die Geschwindigkeit der Luft 0,2 bis 0,3 m nicht übersteigt.

Die Lage der Abluftöffnungen in bezug auf die horizontale Ausdehnung des Raumes muss unter Berücksichtigung der Luftbewegung im Raume bestimmt werden. Bei Anordnung nur eines Zuluft- und Abluftkanals können beide Kanäle in derselben Mittelwand untergebracht werden.

Bei Anordnung mehrerer Zuluft- und Abluftkanäle ist eine möglichste Vertheilung selbstverständlich anzustreben, doch sorgen für die gleichmässige Beschaffenheit der Luft im Raume hauptsächlich die verschiedenen und stets vorhandenen der Beobachtung und Berechnung sich entziehenden sekundären Luftströme, sowie die Diffusion der Luft.

b) Führung der Kanäle für Abluft. Die Abluftöffnungen stehen zunächst jederzeit mit kürzeren oder längeren Einzelkanälen in Verbindung, die entweder für sich oder gesammelt mit der Aussenluft in Verbindung gebracht werden. Erfolgt eine Sammlung der Luft sehr nahe den Abluftöffnungen, so finden leicht Schallübertragungen von Raum zu Raum statt, auch wird häufig eine Störung des Effekts eintreten können, es ist daher jederzeit rathsam, den einzelnen Abluftkanälen keine zu geringe Länge zu geben. Muss mit Strenge jede Schallübertragung vermieden werden (z. B. in Untersuchungsgefängnissen), so sind die Einzelkanäle jeder für sich mit der Aussenluft in Verbindung zu bringen und die Mündungen nebeneinander liegender Kanäle in verschiedene Ebenen zu legen.

Sofern die bewegende Kraft lediglieh durch eine gegen die Aussenluft höhere Temperatur hervorgerufen wird, müssen die Kanäle eine vorwiegend aufsteigende Richtung erhalten.

Kommt nur die Temperatur der Abluft der Räume für die bewegende Kraft in Frage, so können die Einzelkanäle unter Voraussetzung, dass der Dachraum in geeigneter Weise gelüftet wird, frei unter Dach ausmünden. Diese Anordnung hat zwar den Vortheil, dass alle Kanäle stets unter gleichen Bedingungen bezüglich der Witterung stehen, dagegen den Nachtheil, dass sich in kalten Tagen Schweisswasser an dem Holzwerk des Dachraumes niederschlagen und zur Fäulniss des Holzes Veranlassung geben kann, auch ist sie in manchen Städten (z. B. Berlin) baupolizeilich wegen Feuersgefahr verboten.

Gewöhnlich werden im vorliegenden Falle die Einzelkanäle entweder unmittelbar über Dach geführt, oder in einen gegen die zu lüftenden Räume höher, gewöhnlich auf dem Dachboden liegenden horizontalen oder ansteigenden feuerfesten Sammelkanal geleitet, welcher durch einen aufsteigenden über Dach mündenden Schacht mit der Aussenluft in Verbindung steht.

Soll die bewegende Kraft durch Erwärmen der Abluft nach

Verlassen der Räume hervorgerufen bezw. gesteigert werden, so können die Einzelkanäle auch fallend angelegt werden, müssen aber dann am besten durch gemeinsame Sammelkanäle möglichst im Keller mit einem am Fusse entsprechend erwärmten und über Dach führenden Schacht in Verbindung gebracht werden. Natürlich kann auch bei nur aufsteigenden Kanälen durch besondere Erwärmung der Abluft die Auftriebskraft eine Steigerung erfahren.

Wird die bewegende Kraft für die Gesammtanlage durch Absaugen mittelst Exhaustoren hervorgerufen oder verstärkt, so muss stets eine Sammlung der aufsteigenden oder fallenden Einzelkanäle stattfinden, nur braucht der Austritt der Luft aus dem gemeinsamen Schacht, wenn auch stets erwünscht, doch nicht unbedingt über Dach erfolgen.

Steigende, von den zu lüftenden Räumen beginnende Einzelkanäle bedingen die Regelung durch Klappen u. s. w. an den Abluftöffnungen oder oberhalb derselben, fallende Einzelkanäle an den Abluftöffnungen oder unterhalb derselben. Letztere ermöglichen somit auch eine Regelung im Keller. Bei jeder Abluftanlage, bei welcher die Luftbewegung nicht lediglich durch die Wirkung der Zuluftanlage bedingt wird (s. später), empfiehlt es sich, einen jeden Einzelkanal mit einer Regelungsvorrichtung zu versehen, die, später eingestellt, für alle Zeiten unveränderliche Stellung behält.

3. Ausführung der Kanäle. Auf die Ausführung der Kanäle, besonders aller Zuluftkanäle, einschliesslich aller Staub-, Heiz-, Mischkammern u. s. w. ist grosse Sorgfalt zu verwenden. Soweit die Geschwindigkeiten und somit die Querschnitte gewählt werden können, und das ist meist bis auf die senkrechten Zu- und Abluftkanäle der Fall, sollen sie leicht zugänglich, begeh- oder doch beschlupfbar hergestellt, wenn möglich auch erhellt werden, doch ist auch die Möglichkeit leichter Reinigung der senkrechten Kanäle vorzusehen. Alle auf oder in dem Erdboden des Kellers liegenden Räume und Kanäle müssen unbedingt dicht gegen Grundluft und Grundwasser sein; die Heizkammern sind behufs Ueberwachung und Reinigung geräumig, die Wandungen derselben mit Luftschicht und die Decke aus doppelten von einander abstehenden Gewölben herzustellen.

Das Betreten der Heizkammern zu Zwecken des gewöhnlichen Betriebs muss ausgeschlossen bleiben, bei unmittelbar geheizten Apparaten soll die innere Reinigung derselben von Russ und Asche nur ausserhalb der Heizkammern bewirkt werden können. Die Wandungen aller Kammern und Kanäle sind glatt zu halten und nicht zu putzen, wenigstens nur mit einem in der Wärme nicht reissenden Cementputz zu versehen. Für gewöhnlich empfiehlt sich zur Herstellung Ziegelmauerwerk aus glattem und hartem, womöglich

glasirtem Material mit engen, gut verstrichenen Fugen. Richtungsänderungen der Kanäle, welche als wesentliche Widerstände gegen die Luftbewegung anzusehen sind, sollen in Bogen mit möglichst grossem Durchmesser, Querschnittsverengungen oder Erweiterungen allmählich erfolgen.

4. Berechnung der Kanäle. Die Berechnung der Kanäle erstreckt sich auf Bestimmung der Querschnitte; die Querschnitte sind bekannt, sobald die Geschwindigkeit der Luft gegeben ist. Bei allen Lüftungsanlagen muss durch einen jeden Kanal eine bestimmte Luftmenge in der Sekunde hindurchfliessen, mithin ist für jeden Kanal eine bestimmte Geschwindigkeit erforderlich. Die Aufgabe der gesammten Anlage ist es, die in jedem Kanal erforderliche Geschwindigkeit zu erreichen. Wird eine geringere Geschwindigkeit erreicht als die erforderliche, so ist der nothwendige Luftwechsel nicht zu erzielen, wird eine grössere Geschwindigkeit erreicht, so gestaltet sich der Luftwechsel umfangreicher als nöthig, die Anlage und der Betrieb werden theurer.

Nach dem Gesagten zerfällt die Berechnung der Geschwindigkeit in den Kanälen in die erforderliche und erreichbare Geschwindigkeit.

a) **Erforderliche Geschwindigkeit.** Ist L die Luftmenge in cbm gegeben in der Temperatur t, welche stündlich durch einen Kanal vom Querschnitt f in qm fliessen soll, so ist die erforderliche sekundliche Geschwindigkeit:

$$v = \frac{L}{3600 f}. \qquad (20)$$

Wird die in $t°$ gegebene Luftmenge L auf die Temperatur t_1 gebracht, so ist alsdann die erforderliche sekundliche Geschwindigkeit in dem Kanal vom Querschnitt f:

$$v_1 = \frac{L}{3600 f} \frac{(1 + \alpha t_1)}{(1 + \alpha t)}. \qquad (21)$$

(Zur Umrechnung eines Luftvolumens von der Temperatur t auf ein solches von der Temperatur t_1 ist die Tabelle 1 zu benutzen.)

b) **Erreichbare Geschwindigkeit.**

α) Aufstellung der Gleichung. Die erreichbare Geschwindigkeit der Luft in einem Kanal hängt ab von dem Drucke, welcher zur Bewegung der Luft zur Verfügung steht und von den Widerständen, welche sich der Bewegung der Luft entgegen stellen.

Fall 1. Bezeichnet h den senkrechten Abstand der beiden Mündungen A und B eines aus undurchlässigen Wandungen bestehenden Kanals von überall gleichem Querschnitte, t_0 die Temperatur der

Aussenluft, t diejenige der Innenluft, so wird auf die Oeffnung A von der äusseren Luft ein Druck durch eine Luftsäule von der Höhe h und der Temperatur t_0, von der inneren ein solcher durch eine Luftsäule von der Höhe h und der Temperatur t ausgeübt. Die Differenz beider Luftsäulenhöhen in Luft von 0° ausgedrückt ergiebt, sofern $t > t_0$ ist, eine Ueberdruckhöhe der äusseren über die innere Luft in Luft von 0° von der Grösse:

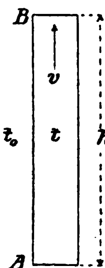


Fig. 1

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t},$$

sofern $t < t_0$ ist, eine Ueberdruckhöhe der inneren über die äussere Luft von der Grösse:

$$\frac{h}{1+\alpha t} - \frac{h}{1+\alpha t_0}.$$

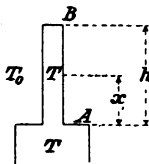
Die Ueberdruckhöhe hat die Bewegung der Luft hervorzurufen und gleichzeitig die der Bewegung der Luft entgegenstehenden Widerstände (Reibung etc.) zu überwinden.

Sie kann daher als die wirksame Druckhöhe der äusseren (bezw. inneren) Luft oder Auftriebshöhe (bezw. Abtriebshöhe) bezeichnet und braucht nicht durch Multiplikation mit dem Gewicht der Luft von 0° in den wirklichen Druck, den sie ausübt, umgesetzt zu werden, sofern die Kraft zur Bewegung der Luft und zur Ueberwindung der Widerstände ebenfalls in den Druckhöhen einer Luftsäule, d. h. in der Geschwindigkeitshöhe und den Widerstandshöhen, naturgemäss wieder in den ihnen zukommenden Dichtigkeiten, zum Ausdruck gelangen.

Die Gleichung gestaltet sich alsdann, wenn $t > t_0$ ist:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} + \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} W,^{*)} \qquad (22)$$

*) In der obigen Darstellung, welche nur zum Verständniss für die Praxis dienen soll, fehlt der Beweis. Wie weit die Richtigkeit des aufgestellten Ausdrucks reicht, geht aus folgender Betrachtung hervor.



In einem Kanal AB von der Höhe h, welcher vor Wärmeabgabe geschützt ist, herrsche die absolute Temperatur T; derselbe stehe mit einem Raume in Verbindung, dessen Lufttemperatur ebenfalls T betrage. Bei Eintritt der Luft in den Kanal (bei A) habe die Luft eine Geschwindigkeit u_1, ein specifisches Volumen v_1, eine Spannung p_1, bei Austritt der Luft (bei B) seien die Werthe durch u_2, v_2 und p_2 gekennzeichnet.

Betrachtet man im Kanal in der Entfernung x von A ein specifisches Volumen v von der Spannung p und nimmt mit demselben eine Elementaränderung vor, so gilt die Differentialgleichung:

sofern v die Austrittsgeschwindigkeit und Geschwindigkeit der Luft im Kanal, W einen Ausdruck für die Widerstände bedeutet, welcher an und für sich von der Geschwindigkeit der Luft nicht abhängig sein soll.

In dieser Gleichung ist:

$$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}$$

die Geschwindigkeitshöhe, d. h. die Grösse desjenigen Theiles der wirksamen Druckhöhe, welche zum Hervorrufen der Geschwindigkeit v verbraucht wird und bei Austritt in die freie Luft verloren geht,

$$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} W$$

die Widerstandshöhe, d. h. die Grösse desjenigen Theiles der wirksamen Druckhöhe, welche zur Ueberwindung der Widerstände aufgebraucht wird.

Fall 2. Empfängt der aufsteigende Kanal, in welchem die durchweg gleiche Temperatur t, die zu berechnende Geschwindigkeit v und die Widerstände W herrschen sollen, die Luft von einem horizontalen an sich gleich weiten Kanal, in welchem die entsprechenden Werthe t_1, v_1 und W_1 sind (Fig. 2), so bleibt die wirksame Druckhöhe dieselbe, da bei einem horizontalen Kanal eine solche nicht vorhanden ist; die Gleichung lautet wenn $t > t_0$ ist:

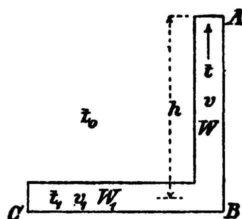


Fig. 2

$$d\left(\frac{u^2}{2g}\right) + dx + d(pv) = p\,dv. \qquad \text{(a)}$$

Das erste Glied ist die Zunahme der lebendigen Kraft, das zweite die Arbeit der Schwere, das dritte — da die Arbeit, welche dem Durchgange durch irgend einen Querschnitt entspricht, stets pv ist — die aus der Differenz der Grenzspannungen sich ergebende Arbeit. Die rechte Seite stellt die Arbeit der Expansion dar, dieselbe ist gleich der algebraischen Summe der anderen Arbeiten zu setzen. Ist nun Q die Wärmemenge, welche bei einer Zustandsänderung einem kg eines Körpers zugeführt wird, A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit, U die in einem kg eines Körpers enthaltene innere Arbeit, so gilt nach der mechan. Wärmetheorie allgemein: $dQ = A(dU + p\,dv)$, mithin ist $p\,dv = \frac{dQ}{A} - dU$.

Da die Temperatur T der Luft im Kanal konstant angenommen werden soll, so ist nach Massgabe des Zustandes eines Gases bei konstanter absoluter Temperatur $dU = 0$ und $\frac{Q}{A} = RT ln \frac{p_1}{p_2}$ zu setzen. Nimmt man den Raum unter dem Kanal als unendlich gross, also die Luft als in Ruhe an, so ist für $x = 0 : u = 0$, $p = p_1$ und $v = v_1$, für $x = h : u = u_2$, $p = p_2$ und $v = v_2$ und somit erhält man gemäss Gl. a:

$$\frac{u_2^2}{2g} + h + (p_2 v_2 - p_1 v_1) = RT ln \frac{p_1}{p_2}.$$

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} + \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} W + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} W_1$$
$$= \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+W) + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} W_1. \qquad (23^a)$$

Sind v_1 und t_1 gegeben, so ist $\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} W_1$ bekannt, die Gleichung enthält somit nur noch den unbekannten Ausdruck $\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+W)$.

Ist der wagerechte Kanal CB in seinem Querschnitt nicht gegeben, sondern soll wie der senkrechte durch Rechnung bestimmt werden, so müssen zur Lösung der Gleichung die Querschnitte, also die Geschwindigkeiten in irgend ein Verhältniss zu einander gebracht werden. Wird — was meist das Einfachste ist — gleicher Querschnitt mit dem Kanal AB angenommen, dann verhalten sich in den beiden Kanälen die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Dichtigkeiten, d. h.

$$v : v_1 = \frac{1}{1+\alpha t_1} : \frac{1}{1+\alpha t},$$

mithin ist

$$v_1 = \frac{v(1+\alpha t_1)}{1+\alpha t}$$

und die Gleichung geht nach Einsetzung in die andere über:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}\left(1 + W + \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t} W_1\right). \qquad (23^b)$$

Es ist aber $p_2 v_2 = RT$ und $p_1 v_1 = RT$, also: $\frac{u_2^2}{2g} + h = RT ln \frac{p_1}{p_2}$. (b)

Für $T = T_0$ (Aussentemp.) wird $u_2 = 0$, also ist: $h = RT_0 ln \frac{p_1}{p_2}$ und $R ln \frac{p_1}{p_2} = \frac{h}{T_0}$, dies in Gl. (b) eingesetzt, giebt: $\frac{u_2^2}{2g} = \frac{hT}{T_0} - h = \frac{h(T-T_0)}{T_0}$ oder, wenn man statt der absoluten Temperaturen, die von 0° gerechneten Temperaturen t und t_0 einführt:

$$\frac{u_2^2}{2g} = \frac{h\alpha(t-t_0)}{1+\alpha t_0} \text{ oder: } \frac{u_2^2}{2g(1+\alpha t)} = \frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t},$$

welche Gleichung der Gl. 22 des Textes unter Weglassung der der Bewegung der Luft entgegenstehenden Widerstände entspricht.

Bei der vorstehenden Entwickelung darf eigentlich die Temperatur T nicht als konstant angenommen werden, sondern es muss der Fall, dass der Luft von aussen Wärme weder zu- noch abgeführt wird, zu Grunde gelegt, d. h. $dQ = 0$ gesetzt werden. Der Fehler ist indess bei den geringen Druckdifferenzen p_1 und p_2, die in der Lüftungstechnik für häusliche Anlagen vorkommen, klein genug, um in anbetracht, dass man zu einem so einfachen und für die Praxis bequemen Ausdruck gelangt, vernachlässigt werden zu können.

Fall 3. Ist eine Kanalanlage derartig gestaltet, dass die Luft in einem Theile eine rückläufige Bewegung machen muss, wie Fig. 3 zeigt, und herrscht in der senkrechten Theilstrecke AB — sofern unter „Theilstrecke" ein abgegrenzter Theil einer Kanalanlage verstanden wird — die zu berechnende Geschwindigkeit v, Temperatur t, Widerstand W, in der horizontalen Theilstrecke BC entsprechend v_1, t_1, W_1, in der senkrechten Theilstrecke CD, in welcher rückläufige Bewegung herrscht v_2, t_2, W_2, so ist die Ueberdruckhöhe der äusseren Luft über die innere, wenn $t > t_0$ ist,

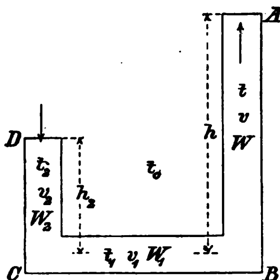


Fig. 3

für die Theilstrecke AB: $\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t}$,

" " " BC: 0,

" " " CD: $\frac{h_2}{1+\alpha t_0} - \frac{h_2}{1+\alpha t_2}$.

Letztere ist in Folge der rückläufigen Bewegung der Luft negativ in Rechnung zu stellen.

Die Gleichung wird lauten:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} - \left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0} - \frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right) = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} + \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} W + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} W_1 + \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)} W_2. \quad (24^a)$$

Sind v_1, v_2, t_1 und t_2 gegeben, so ist die Gleichung zu schreiben:

$$\frac{h-h_2}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} + \frac{h_2}{1+\alpha t_2} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+W) + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} W_1 + \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)} W_2. \quad (24^b)$$

Sofern aber nicht nur der Querschnitt der senkrechten Theilstrecke AB, sondern auch die Querschnitte der Theilstrecken BC und CD bestimmt werden sollen, d. h. ist nur t_1 und t_2, nicht etwa v_1 und v_2 gegeben, so sind v_1 und v_2 in ein Verhältniss zu v zu bringen. Die Gleichung lautet, wenn gleich grosse Kanalquerschnitte angenommen werden, die Geschwindigkeiten sich also umgekehrt wie die Dichtigkeiten der Luft verhalten:

$$\underbrace{\frac{h-h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h}{1+\alpha t}+\frac{h_2}{1+\alpha t_2}}_{1}=\underbrace{\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}}_{2}+$$

$$\underbrace{+\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}\left(W+\frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t}W_1+\frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t}W_2\right)}_{3}$$

$$=\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}\left(1+W+\frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t}W_1+\frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t}W_2\right). \qquad (25)$$

1 ist die wirksame Druckhöhe,
2 die Geschwindigkeitshöhe,
3 die Summe der Widerstandshöhen.

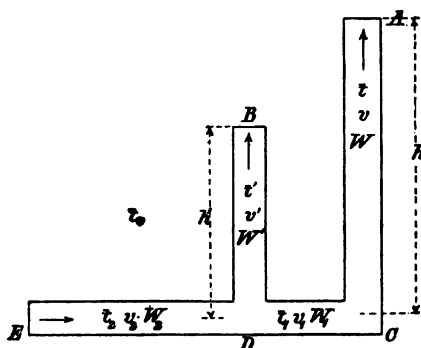


Fig. 4

Fall 4. Gehen von einem wagerechten Kanale zwei senkrechte Kanäle ab (Fig. 4), so muss bei E soviel Luft (dem Gewicht nach) einströmen, als bei A und B ausströmt.

Die Strecke ED ist gemeinsam, also herrscht auch die gleiche Widerstandshöhe in derselben sowohl für Kanal ACD als für Kanal BD. Die Gleichung für die Kanäle ACD und DE wird lauten, wenn wieder t und $t_1 > t_0$ ist:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0}-\frac{h}{1+\alpha t}=\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+W)+\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}W_1+$$
$$+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}W_2, \qquad (26^a)$$

für die Kanäle BD und DE:

$$\frac{h'}{1+\alpha t_0}-\frac{h'}{1+\alpha t'}=\frac{v'^2}{2g(1+\alpha t')}(1+W')+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}W_2. \qquad (26^b)$$

Zur Lösung der Gleichungen ist es wieder am einfachsten die Geschwindigkeiten v_1 und v_2 bei bekanntem t_1 und t_2 anzunehmen.

Aus den bisherigen Betrachtungen ergeben sich folgende einfache Sätze:

Alle Höhen (Druck-, Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen) sind jederzeit in der ihnen zukommenden Dichtigkeit der Luft auszudrücken. Die Ueberdruckhöhe der äusseren Luft jeder Theilstrecke einer Kanalanlage ist positiv einzusetzen, sofern die Luft in dieser Theilstrecke eine aufsteigende Bewegung hat, anderenfalls negativ.

Eine positiv wirksame Druckhöhe der äusseren Luft bedingt in dem Endergebniss ein Heben der inneren Luft, eine negative d. h. eine positiv wirksame Druckhöhe der inneren Luft, ein Fallen der inneren Luft. Die Geschwindigkeitshöhe ist durch die Austrittsgeschwindigkeit der Luft zu bilden.

Sind für einzelne Kanalstrecken die Geschwindigkeiten gegeben, so sind die Widerstandshöhen als bekannte Grössen in die Gleichung einzusetzen, anderenfalls sind die Geschwindigkeiten der verschiedenen Kanalstrecken auf eine Geschwindigkeit zu reduciren, damit die Gleichung lösbar wird.

Fall 5. Befindet sich in einer Kanalanlage ein grosser Raum (Zimmer, Staubkammer u. s. w.), so kann angenommen werden, dass die Geschwindigkeit der eintretenden Luft = 0 wird, somit die Geschwindigkeitshöhe verloren geht und für die an den Raum weiter sich anschliessende Kanalanlage von neuem hervorzurufen ist. Es geht mithin von der wirksamen Druckhöhe ein Theil verloren, andererseits fällt die Widerstandshöhe im Raume fort. Am einfachsten wird, wenn es auch nicht ganz richtig ist, dieser Verlust der Geschwindigkeitshöhe bei einer zusammenhängenden Kanalanlage durch entsprechende Vergrösserung der Widerstandshöhe der in den Raum eintretenden Luft (also durch W) zum Ausdruck gebracht, so dass bei jeder zusammenhängenden und gemeinsam zu berechnenden Kanalanlage nur die Geschwindigkeitshöhe der am Ende austretenden Luft in der Gleichung auftritt; die Gleichungen gewinnen dadurch an Uebersichtlichkeit. Ueber W siehe später.

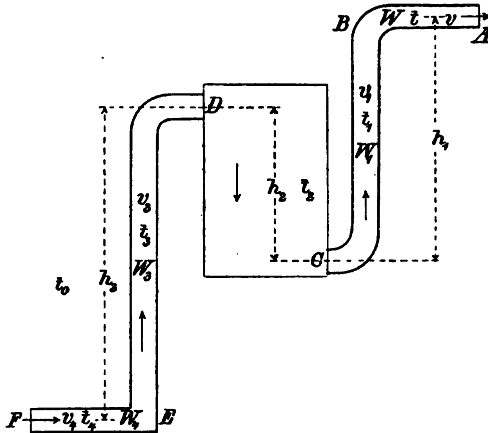


Fig. 5

So lautet dann z. B. die Gleichung für Fig. 5, wenn die Theilstrecken AB und EF horizontal liegen:

$$\frac{h_1 - h_2 + h_3}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_1}{1 + \alpha t_1} + \frac{h_2}{1 + \alpha t_2} - \frac{h_3}{1 + \alpha t_3} = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha t)}(1 + W) +$$

$$+ \frac{v_1^2}{2g\,(1 + \alpha t_1)} W_1 + \frac{v_3^2}{2g\,(1 + \alpha t_3)}(1 + W_3) + \frac{v_4^2}{2g\,(1 + \alpha t_4)} W_4. \qquad (27)$$

Fall 6. Die Kanalanlage war bisher als ein zusammenhängendes Ganzes mit undurchlässigen Wandungen betrachtet worden. Es hindert nichts dieselbe auch in 2 unabhängig von einander wirkende Anlagen zu theilen. Der Strich DD im Raume mag die Theilung der Anlage bezeichnen, so dass die eine Anlage aus den Theilstrecken AB, BC und CD, die andere aus den Theilstrecken DE, EF und FG besteht. Es lauten dann die Gleichungen, sofern die Geschwindigkeit in dem Raume, d. h. in den Theilstrecken CD und DE wieder gleich Null genommen wird:

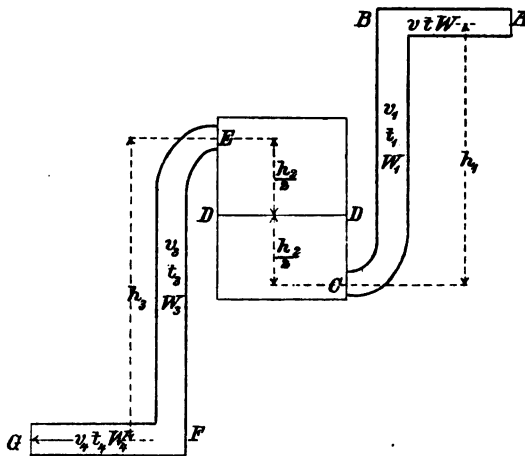


Fig. 6

$$\frac{1}{1+\alpha t_0}\left(h_1 - \frac{h_2}{2}\right) - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} + \frac{\frac{h_2}{2}}{1+\alpha t_2} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+W) + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} W_1 \qquad (28^a) \text{ und}$$

$$\frac{1}{1+\alpha t_0}\left(-\frac{h_2}{2} + h_3\right) + \frac{\frac{h_2}{2}}{1+\alpha t_2} - \frac{h_3}{1+\alpha t_3} = \frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)}(1+W_3) + \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)} W_4, \qquad (28^b)$$

d. h. in der Mitte des Raumes in der Lage DD herrscht mit der Aussenluft Gleichgewicht, da die gesammte wirksame Druckhöhe von G bis zur Mitte des Raumes durch die bis dahin sich ergebende Geschwindigkeits- und Widerstandshöhe aufgebracht ist. Diese Gleichgewichtslage (neutrale Zone) lässt sich innerhalb gewisser Grenzen an eine beliebige Stelle der Anlage verlegen, es ist nur die Aufstellung der Gleichungen entsprechend vorzunehmen.

Fall 7. Soll dagegen in dem Raume ein bestimmter Ueber- oder Unterdruck gegen die Aussenluft hervorgerufen werden von der Höhe H einer Luftsäule, ausgedrückt in Luft von 0°, so sind aus Gleichung 27 zwei Gleichungen zu bilden, ausgehend von der Lage im Raume, wo der Ueber- oder Unterdruck herrschen soll und ist

die wirksame Druckhöhe der entsprechenden einen Gleichung um die Höhe H zu vergrössern bezw. zu verkleinern, die wirksame Druckhöhe der anderen Gleichung um die Höhe H zu verkleinern bezw. zu vergrössern.

Soll z. B. am Fussboden des Raumes in der Höhenlage von C (Fig. 6) Ueberdruck oder Unterdruck von der Höhe H herrschen, so lauten die Gleichungen:

$$\frac{h_1}{1+\alpha t_0} - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} \pm H = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+W) + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} W_1 \qquad (29^a)$$

und

$$\frac{-h_2+h_3}{1+\alpha t_0} + \frac{h_2}{1+\alpha t_2} - \frac{h_3}{1+\alpha t_3} \mp H = \frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)}(1+W_3) + $$
$$+ \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)} W_4. \qquad (29^b)$$

Die oberen Vorzeichen von H gelten für Ueberdruck, die unteren für Unterdruck. Natürlich muss die Höhe H so gewählt werden, dass die linke Seite jeder Gleichung noch eine positive Zahl ergiebt.

Wird nun allgemein unter einer Kanalanlage ein Zug von Kanälen verstanden, dessen Anfang und Ende mit der Aussenluft oder mit einem Raume in Verbindung steht, in welchem die Geschwindigkeit der Luft $= 0$ ist und die Luft ungehindert ein- oder ausströmen kann, so lautet jederzeit in Worten die aufzustellende Gleichung:

Die wirksame Druckhöhe einer Kanalanlage ist gleich der Geschwindigkeitshöhe der Luft (bei Austritt derselben) vermehrt um die bekannten und unbekannten Widerstandshöhen.

Aus allen bisherigen Gleichungen ist zu ersehen, dass bei derselben Höhe der Kanäle, bei gleichen Widerständen und bei derselben äusseren Temperatur, die Temperaturen in der Kanalanlage den einzigen Einfluss auf die Geschwindigkeiten ausüben.

Werden die Innentemperaturen niedriger, so nehmen bei gleichem Luftwechsel die Geschwindigkeiten ab, die Kanäle werden mithin weiter; für den Fall, dass die Temperatur gleich der äusseren Temperatur wird, findet keine Bewegung mehr statt, da alsdann die wirksame Druckhöhe $= 0$ ist.

Fall 8. Bezeichnet allgemein A die algebraische Summe der Druckhöhen der äusseren Luft, B diejenigen der Innenluft, so stellt $A - B$ die wirksame Druckhöhe der Anlage dar. Wird ferner durch C die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen ausgedrückt, so muss, wenn ein Heben der inneren Luft verlangt wird, $A - B$ positiv sein und die Gleichung bestehen

$$A - B = C.$$

Ist nun $A - B$ dagegen negativ oder doch $< C$, d. h. sind im letzteren Falle die Querschnitte der Kanäle nicht gross genug zu machen, so kann die Anlage nicht den gewünschten Effekt geben. Wird $C - (A - B) = M$ gesetzt, so stellt M die für den Effekt fehlende wirksame Druckhöhe dar, ausgedrückt in Luft von 0°. Es kann nun geschrieben werden:

$$(A + M) - B = C \qquad (30^a)$$

oder:

$$A - (B - M) = C. \qquad (30^b)$$

Die erste Gleichung, bei welcher eine Vergrösserung der Summe der äusseren Druckhöhen durch M stattfindet, stellt die Gleichung für Drucklüftung dar, bei welcher die Luftsäule M der Ventilator hervorzurufen hat.

Die zweite Gleichung, bei welcher eine Verminderung der Summe der inneren Druckhöhen durch M stattfindet, stellt die Gleichung für Saugelüftung dar.

Ist $A - B = 0$, d. h. sind die Temperaturen gleich den äusseren, so muss $M = C$ sein.

β) Bestimmung der Bewegungswiderstände. Der Ausdruck W für die Widerstände der Bewegung der Luft bedarf noch einer Bestimmung.

Die Widerstände zerfallen in:

den stetigen Widerstand durch Reibung der Luft an den Wandungen der Kanäle,

die einmaligen Widerstände durch Richtungsänderung in der Bewegung der Luft durch körperliche Hindernisse (Klappen, Schieber, Gitter u. s. w.) und Querschnittsänderungen der Kanäle.

Der Reibungswiderstand. Bezeichnet R den Ausdruck des Widerstandes für die Reibung in einem Kanal, so ist für einen solchen von rechteckigem Querschnitte:

$$R = \frac{\rho\, l u}{f}, \qquad (31^a)$$

für einen solchen von quadratischem oder rundem Querschnitte:

$$R = \frac{4 \rho\, l}{d} \qquad (31^b)$$

zu setzen, sofern:

ρ einen Erfahrungskoeffizienten (Reibungskoeffizienten),
l die gesammte Länge } des Kanals
u den Umfang } des Kanals
f den Querschnitt } des Kanals
d die Seite oder den Durchmesser } des Kanals

bedeuten.

Die Länge des Kanals l ist jederzeit aus dem Entwurfe zu entnehmen.

Der Ausdruck für W und somit auch derjenige für ρ darf nicht die Geschwindigkeit der Luft enthalten, sofern das über die Berechnung der erreichbaren Geschwindigkeit Gesagte Gültigkeit behalten soll.

Der bisher in der Praxis meist angewandte Werth für $\rho = 0{,}006$ hat sich nach Versuchen des Verfassers mit etwa 40 m langen, sauber gemauerten und nur gefugten rechteckigen Kanälen als zu klein ergeben; der aus den Versuchen gefundene Ausdruck für ρ lautet und zwar für Kanäle bis herab zu 48 cm Umfang:

$$\rho = 0{,}0065 + \frac{0{,}0604}{u - 48}. \qquad (32)$$

In dem Ausdrucke ist der Umfang des Kanalquerschnitts u (in cm) enthalten, mithin ist der Ausdruck für die praktische Berechnung ohne weiteres nur dann zu gebrauchen, wenn der Querschnitt eines Kanals angenommen werden kann. Tabelle 5 enthält die Werthe von ρ.

Wie sich später ergeben wird, ist meistens nur die erreichbare Geschwindigkeit in den Einzelkanälen für Zu- und Abluft zu berechnen, während alle übrigen Kanalquerschnitte nach Annahme der erforderlichen Geschwindigkeit ohne weiteres bestimmt werden können. Für alle diese Kanäle sind also auch sofort die Widerstandshöhen, hervorgerufen durch die Reibung, unter Einsetzung des betreffenden ρ aus der Tabelle endgültig zu ermitteln. Für die noch zu bestimmenden und erst durch Aufstellung der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit zu berechnenden Kanäle sind bei der Lösung — wie sich später zeigen wird — die Kanäle doch zunächst zu schätzen, so dass also für alle Fälle das ρ sofort aus der Tabelle ohne Rechnung oder sofern die Kanalquerschnitte im gewöhnlichen Mauermasse ausgeführt werden sollen, unmittelbar $\frac{\rho u}{f}$ aus Tabelle 6 zu entnehmen ist.

Einmalige Widerstände. Bezeichnet ξ jeden einmaligen Widerstand in einem Kanal, so ist nach Versuchen des Verfassers zu setzen bezüglich der

Richtungsänderungen bei gemauerten Kanälen:

für ein rechtwinkliges scharfes Knie . . . . $\xi = 1{,}5$
„ „ „ abgerundetes Knie (Bogen) $\xi = 1{,}0$
„ „ Knie von 135° _/ . . . . $\xi = 0{,}6$
„ langsam überführte Richtungsänderungen . . $\xi = 0$

körperlichen Hindernisse:

für eine geöffnete Klappe oder einen geöffneten Schieber, sofern der Rahmen mit dem Mauerwerk bündig ist . . $\xi = 0$

für ein Gitter, dessen freier Querschnitt gleich dem Kanalquerschnitt ist:

sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,5 beträgt . . . . $\xi = 1{,}5$

sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,2 beträgt . . . . $\xi = 2$

für ein Gitter, dessen freier Querschnitt ein halb mal grösser als der Kanalquerschnitt ist:

sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,5 beträgt . . . . $\xi = 0{,}75$

sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,2 beträgt . . . . $\xi = 1$

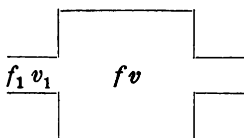
für ein weitmaschiges Drahtgitter . . . . $\xi = 0$

für ein Gitter aus Drahtgaze, dessen freier Querschnitt gleich dem Kanalquerschnitt ist und das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche nicht unter 0,6 beträgt $\xi = 0{,}6$

für ein Gitter aus Drahtgaze, dessen freier Querschnitt ein halb mal grösser als der Kanalquerschnitt ist und das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche nicht unter 0,6 beträgt . . . . $\xi = 0{,}3$

Querschnittsänderungen:

Kleinere, allmählich verlaufende Querschnittsänderungen können vernachlässigt werden; für plötzliche grössere



(z. B. bei einer Heizkammer, welche nicht gross genug ist, um die Geschw. d. Luft = 0 zu setzen) ist, bezogen auf v: $\xi = \left(\frac{f}{f_1} - 1\right)^2$

γ) Berücksichtigung der Verluste an Geschwindigkeitshöhe.

Bei Eintritt der Luft in einen grossen, inzwischen einer zusammenhängenden und zusammengehörenden Kanalführung befindlichen Raum, in welchem die Geschwindigkeit = 0 gesetzt werden kann, geht, wie bereits früher erwähnt, die Geschwindigkeit, also auch die Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{2\,g\,(1 + \alpha t)}$ verloren. Es bedingt dies einen entsprechenden Verlust an wirksamer Druckhöhe, welcher also in dem Ausdruck von W die Grösse 1 haben muss. Es ist daher allgemein bei einem gleichweiten Kanal, bei welchem die Luft in mitten der zusammenhängenden Kanalführung in einen grossen Raum austritt:

$$1 + W \text{ d. h. } 1 + R + \Sigma\xi,$$

bei einem Kanal, der in einen andern Kanal übergeht nur:

$$W \text{ d. h. } R + \Sigma\xi$$

zu setzen.

Sechstes Kapitel.

Entwerfen und Berechnen von Lüftungsanlagen.

I. Aufstellung der Forderungen.

Für jede Lüftungsanlage sollten von dem Auftraggeber Forderungen gestellt werden, welche dem Auftragnehmer als Unterlagen über Effekt und Umfang der Anlage dienen können.

Ist der Auftraggeber — vermöge seines Wollens oder Könnens — nicht in der Lage eingehende Forderungen zu stellen, so muss er doch unter Beifügung der Grundrisse und Durchschnitte des Gebäudes mindestens Angaben machen über:

Die Lage des Gebäudes, die Benutzung der einzelnen Räume, die voraussichtlich grösste Anzahl der sich in den einzelnen Räumen aufhaltenden Personen, die Beleuchtung der Räume nach Art und — soweit nicht elektrische Beleuchtung vorgesehen werden soll — nach Massgabe der Flammenzahl, die Räume, welche zur Unterbringung der erforderlichen Kanäle im Keller bezw. Dachraum zur Verfügung stehen, die geeignetste Stelle zur Entnahme frischer Luft und die Art des Brennmaterials, welches zur Verwendung kommen soll.

Wer nicht allein von der Anschauung des Auftragnehmers abhängen will — und dies ist in beiderseitigem Interesse stets zu empfehlen — hat ausser den vorstehenden Angaben noch weitergehende Bedingungen zu stellen. In bezug auf diese wird auf das einundzwanzigste Kapitel verwiesen.

II. Wahl des Lüftungssystems.

Für die Wahl des Lüftungssystems kommen in Frage:

a) die Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen,

b) die höchste äussere Temperatur, bis zu welcher der Luftwechsel gefordert wird.

a) **Die Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen.***) Jede Lüftungsanlage ist derartig zu berechnen, dass die gesammte wirksame Druckhöhe gleich der Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen ist. An irgend einer Stelle einer Lüftungsanlage wird gegenüber der äusseren Luft Gleichgewicht (neutrale Zone), Ueber- oder Unter-

*) Vergl. Vortrag von Recknagel, „Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege“ Bd. XVII, Heft 1.

druck herrschen, je nachdem die wirksame Druckhöhe der bis zu dieser Stelle gerechneten Zuluftanlage gleich gross, grösser oder kleiner als die bis dahin sich ergebende Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen ist.

Wenn man einen Raum und die zugehörige Kanalanlage als undurchlässig für Luft ansehen darf, kann man — wie bereits im vorigen Kapitel unter 4, b erwähnt — die Druckverhältnisse in dem zu lüftenden Raume innerhalb gewisser Grenzen annehmen. Soll z. B. am Fussboden eines Raumes Gleichgewicht mit der Aussenluft (neutrale Zone) herrschen, so ist die bis zu dieser Stelle bezw. von dieser Stelle ab sich ergebende wirksame Druckhöhe der Zuluft- bezw. Abluftanlage gleich der Summe der bis zu gleicher Stelle bezw. von gleicher Stelle ab sich ergebenden Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen zu setzen. Bei gefordertem Ueber- oder Unterdruck, gegeben in Höhe einer Luftsäule, bleiben die letzteren Summen für Zuluft und Abluft die gleichen, nur wird für die Berechnung die wirksame Druckhöhe der Zuluft- bezw. Abluftanlage bei Ueberdruck um die Grösse desselben gekürzt bezw. vermehrt, bei Unterdruck um die Grösse desselben vermehrt bezw. gekürzt.

In der Praxis ist es nun zwar möglich, die Wände gegen Luft undurchlässig zu machen (s. natürliche Lüftung), dagegen wird es nie gelingen, die Fugen der Fenster und Thüren vollkommen dicht schliessend herzustellen, es können somit wohl die Kanäle, nicht aber die zu lüftenden Räume als undurchlässig für Luft angesehen werden. Die Folge davon ist, dass auch ein Ueber- oder Unterdruck meist nicht in der angenommenen Grösse eintreten wird, da ein gewisser Ausgleich der Druckverhältnisse zwischen innen und aussen jederzeit stattfindet. Bei Ueberdruck in einem Raume entweicht Luft durch die Undichtheiten nach aussen, bei Unterdruck dringt Luft von aussen ein, es kann daher unter Verhältnissen der volle Luftwechsel in einem Raume stattfinden, ohne dass derselbe ausschliesslich durch die Wirkung der Kanalanlage bedingt wird; es kann aber auch, falls durch die Zuluftanlage eine gleichzeitige Erwärmung des Raumes erfolgen soll, diese selbst und zwar ganz besonders bei zu grosser Höhenlage der Einströmungsöffnungen der warmen Luft, bei dünnen Wänden und schlecht schliessenden Thüren und Fenstern in Frage gestellt werden. Da alle Anlagen für den ungünstigsten Fall berechnet werden, also einen grösseren Effekt für die meist stattfindenden günstigeren Verhältnisse ermöglichen, so wird mit Eintritt dieser auch der nicht gewünschte Einfluss der Durchlässigkeit unfühlbarer.

Bei einem Raume, bei welchem der Luftwechsel ausschliesslich durch die Wände hindurch erfolgt, findet bei gleicher Beschaffenheit der Wände und bei gleichmässiger jedoch mit aussen verschiedener

Temperatur der Luft in der in halber Höhe liegenden Horizontalebene Gleichgewicht der Innen- und Aussenluft statt. Ist die Zimmertemperatur höher, als die der Aussenluft, so herrscht von der Gleichgewichtslage (neutralen Zone) an gerechnet nach unten zu Unter-, nach oben zu Ueberdruck im Raume; im anderen Falle findet das Umgekehrte statt. Derselbe Zustand tritt ein, wenn die Durchlässigkeit der Wände eine gleichartige und derartige ist, dass eine Abhängigkeit der Zuluft- und Abluftanlage nicht besteht, oder auch dann, wenn die gesammte Anlage als vollkommen dicht angesehen werden kann und die Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage getrennt von einander, d. h. unter Annahme der Gleichgewichtslage in Mitte des Raumes erfolgt ist.

Nach dem Vorstehenden und nach den in der Praxis stattfindenden Verhältnissen soll Folgendes empfohlen werden.

Sämmtliche Wände sind stets nach Möglichkeit undurchlässig für Luft herzustellen und auch als undurchlässig für die Rechnung, die Räume also nur als eine Erweiterung der Kanalanlage anzunehmen. Bei Anlagen vermittelst Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft, d. h. also bei Anlagen mit geringer wirksamer Druckhöhe ist eine getrennte Berechnung der Zu- und Abluftanlage anzustellen. Die neutrale Zone ist in Mitte der Räume oder nicht weit von derselben, etwa in Mitte der unteren Abluftöffnungen anzunehmen, die Zuluftanlage also bis zur neutralen Zone, die Abluftanlage von der neutralen Zone ab zu berechnen. Nicht zu empfehlen ist, die gesammte Anlage als ein zusammenhängendes Ganzes zu berechnen — bei der geringen wirksamen Druckhöhe können unliebsame Störungen im Effekt und in Folge von Zugerscheinungen eintreten, auch hat man keinerlei Anhalt mehr, wo sich die neutrale Zone befindet. Lägen beispielsweise 3 Stockwerke übereinander und bei ungetrennter Berechnung der Zu- und Abluftanlage befände sich im Winter im mittelsten Stockwerke die neutrale Zone zufälligerweise in der Mitte der Räume, so würde in den Räumen des untersten Stockwerks Unterdruck, in denen des obersten Ueberdruck herrschen.

Bei Anlagen mit grösserer wirksamer Druckhöhe, also bei Sauge- bezw. Drucklüftung kann die neutrale Zone vor bezw. hinter die zu lüftenden Räume, d. h. in die Zuluft- bezw. Abluftkanäle verlegt werden; im ersten Falle hat man Unterdruck, im zweiten Ueberdruck in den Räumen und zwar einen um so grösseren Unter- oder Ueberdruck, je mehr man die Verlegung nach dem Anfange oder Ende der Anlage vorgenommen hat.

In der Praxis ist es bisher leider nicht üblich bei Berechnung dieser Anlagen die neutrale Zone anzunehmen und muss man dann häufig unliebsame Wirkungen mit in Kauf nehmen.

Bei Saugelüftung — mag dieselbe durch Erwärmen der abziehenden Luft oder durch Exhaustoren bewirkt werden — findet die Verlegung der neutralen Zone, sofern keine positive Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft und der Aussenluft besteht, stillschweigend nach dem Anfange der Anlage statt; in diesem Falle werden alle Widerstände der Zuluftanlage von der in der Abluftanlage gebildeten wirksamen Druckhöhe mit überwunden. Eine solche Anlage ist nur bei gewünschtem oder gestattetem Unterdruck in den Räumen anzunehmen, also z. B. für Räume mit ansteckenden Kranken oder für solche, in denen sich Gerüche entwickeln. Für Küchen, Abtritte u. s. w. sind sie sogar geboten; bei diesen ist der Unterdruck noch dadurch zu steigern, dass Zuluftkanäle gar nicht angelegt werden und nur mittelbare Einführung von Zuluft durch anzuordnende Vorräume stattfinden kann. Dadurch werden die Widerstände für den Lufteintritt und somit auch der Unterdruck gesteigert.

Bei allen Räumen, in denen Unterdruck wegen des leichten Eintretens von Zugerscheinungen nicht herrschen soll — wie z. B. bei Räumen mit einfachen Fenstern und solchen, bei denen die Anwesenden sich hauptsächlich am Fenster aufzuhalten haben, sowie bei Theatern, Concertsälen — oder bei solchen, in denen Unterdruck wegen leichter Beeinflussung des Effekts nicht herrschen darf — wie z. B. bei gekühlten Räumen, deren Kühlkörper im Keller stehen — ist bei Anwendung von Saugelüftung die Wirksamkeit derselben nur auf die Abluftanlage oder einen Theil derselben zu beschränken. Die Grenze für die Berechnung bildet dann wieder die neutrale Zone, diese ist also hinter oder in die zu lüftenden Räume zu verlegen. Die Zuluftanlage muss alsdann wirksame Druckhöhe genug besitzen, um selbstständig die Luft bis zur angenommenen neutralen Zone zu befördern und ist naturgemäss bis zu dieser ungetrennt zu berechnen. Saugelüftung setzt also nicht unbedingt Unterdruck in den Räumen voraus; sie kann mit Vortheil zur Unterstützung der Zuluftanlage benutzt werden, d. h. dann, wenn zur Verkleinerung der Querschnitte der Zuluftkanäle es wünschenswerth oder erforderlich ist, dass die wirksame Druckhöhe der Zuluftanlage allein durch die Widerstände und die Bewegung der Luft in derselben aufgebraucht wird.

Bei Drucklüftung ist es ohne Bedenken die neutrale Zone an das Ende der Anlage zu verlegen, sofern Ueberdruck in den Räumen herrschen soll und ein Entweichen von Luft durch Wände und Fugen angängig oder gar erwünscht erscheint. Es kann alsdann die in der Praxis meist übliche ungetheilte Berechnung der ganzen Anlage beibehalten werden; nur wenn nahezu ein bestimmter Ueberdruck in

den Räumen herrschen soll, muss die Berechnung der Kanalanlage für Zuluft bezw. Abluft bis zu der Stelle bezw. von der Stelle, an welcher der verlangte Ueberdruck in den Räumen stattfinden soll, getrennt erfolgen.

Soll in einer Horizontalebene in den Räumen Gleichgewicht mit der Aussenluft herrschen, so ist die Wirkung der Drucklüftung nur von dieser ab zu berechnen, die wirksame Druckhöhe der Abluftanlage muss alsdann genügend gross sein, um die Bewegung der Luft in derselben hervorzurufen und die Widerstände zu überwinden.

Auszuschliessen ist Drucklüftung, sofern sie durch Verlegen der neutralen Zone hinter die zu lüftenden Räume Ueberdruck hervorruft, für Räume, für welche Saugelüftung angezeigt ist, also für solche, in denen sich Gerüche entwickeln, in denen Menschen mit ansteckenden Krankheiten sich befinden u. s. w. Sollen in einem Gebäude gleichzeitig Räume mit Ueber- und solche mit Unterdruck sich befinden, so ist die gemeinsame Anordnung von Druck- und Saugelüftung geboten, für die ersten Räume muss alsdann die neutrale Zone mehr an das Ende, für die letzten mehr an den Anfang verlegt werden.

b) **Die höchste äussere Temperatur, bis zu welcher der Luftwechsel gefordert wird.** In der Regel werden bei einer höchsten Aussentemperatur von 0° bis + 5° für die Erzielung des geforderten Luftwechsels Anlagen mittelst Temperaturdifferenz genügen, bei denen die Abluft ohne besondere Erwärmung in steigenden Kanälen unmittelbar oder mittelbar durch einen über den Räumen liegenden und mit einem Schachte in Verbindung stehenden Sammelkanal über Dach geleitet wird. Bei grösserer Ausdehnung des Gebäudes machen sich allerdings mehrere Einzelanlagen nöthig.

Ist die äussere Temperatur höher, etwa zu + 10° bestimmt worden, so wird häufig die Erzielung des Luftwechsels durch die einfachen Anlagen nicht mehr möglich, da die wirksame Druckhöhe zu gering ist, um die Widerstände zu überwinden. Jedenfalls kann die horizontale Ausdehnung derartiger Anlagen nur eine geringe sein und zeigt in zweifelhaften Fällen bezüglich der angenommenen horizontalen Ausdehnung lediglich die Rechnung die Möglichkeit der Ausführung.

Bei hoher Aussentemperatur, etwa + 25° kann nur Druck- oder Saugelüftung — möge nun letztere durch Erwärmung der Abluft oder durch Exhaustoren bewirkt werden — in Anwendung kommen. Bezüglich der Wahl von Druck- oder Saugelüftung hat man sich nach dem unter a) Gesagten wohl zu überlegen, welche Druckverhältnisse in den Räumen herrschen dürfen; ein Missgriff nach dieser Richtung kann sehr störende Erscheinungen hervorrufen.

Es ist in der Wirkung ein grosser Unterschied, ob man einen Ventilator am Anfange der Anlage zum Einpressen von Luft, oder am Ende der Anlage zum Absaugen von Luft verwendet, oder zwei Ventilatoren vorsieht, welche dieselbe Luftmenge fördern und von denen der eine in der Zuluft-, der andere in der Abluftanlage Aufstellung findet.

Sauge- und Drucklüftung gestatten die Möglichkeit, die Abluftkanäle zunächst fallend anzulegen und sie durch einen Sammelkanal mit aufsteigendem Schachte, welcher über Dach mündet, in Verbindung zu bringen. Da die wirksame Druckhöhe der äusseren bewegenden Luft um so grösser wird, je geringer die Druckhöhe der bewegten Luftsäule sich gestaltet, so ist — bei besonderer Erwärmung der Abluft — jederzeit die Erwärmung am tiefsten Punkte des aufsteigenden Schachtes vorzunehmen. Erwärmung der Luft kurz vor Austritt der Luft ins Freie ist von sehr geringer Wirkung, daher zu vermeiden. Die Abluft von Räumen, in denen sich Gerüche entwickeln, oder in denen sich ansteckende Kranke befinden, sollte stets ohne Sammlung mit der Abluft anderer Räume unmittelbar durch steigende Kanäle ins Freie geführt werden. Aspirationsanlagen unter Benutzung der Wärme abziehender Rauchgase von vorhandenen Heizanlagen sind in ihrem Effekte abhängig von dem Heizbedarfe — dieser deckt sich nicht gleichmässig mit dem Lüftungsbedarfe. Derartige Anlagen müssen bei Forderung eines gleichmässigen Luftwechsels noch mit einer besonderen Feuerung zur Unterstützung der vorhandenen Erwärmung der Abluft ausgerüstet werden. Letztere wird alsdann häufig in der Praxis nicht betrieben — Vorsicht bei Anwendung derartiger Anlagen ist daher geboten.

Die Temperatur, bis auf welche die Abluft bei der höchsten Aussentemperatur erwärmt werden soll, kann vorgeschrieben und soll aus ökonomischen Rücksichten nicht zu hoch bemessen werden (s. S. 28). In einigen Fällen — d. h. wenn die Wärme abziehender Rauchgase benutzt werden soll oder die Kanäle sämmtlich oder zum Theil bestimmte Querschnitte erhalten müssen — ist die Temperatur, wie bereits früher erwähnt, zu berechnen. Ergiebt die Temperatur einen wesentlich höheren Werth als etwa 40°, so ist meist das Absaugen durch Exhaustoren der geringeren Betriebskosten wegen vorzuziehen und daher rathsam vor Entscheidung eine Betriebskostenberechnung anzustellen. Allerdings erfordern alle Maschinen verständige Wartung und mitunter in Folge nöthiger Reparaturen schnelle Hülfe; wo diese nicht vorausgesetzt werden können, wird man lieber eine im Betriebe vielleicht kostspieligere Erwärmung der Abluft vorsehen.

Für Erwärmung der Abluft bei Küchen wird am besten die

Wärme der abziehenden Rauchgase der Küchenheerdfeuerung benutzt, bei Abtritten einfache Gasflammen, deren Leuchtkraft für die Erhellung der Räume dienen kann. Es sind dann besondere Laternen erforderlich, bei welchen der Hauptstrom der Abluft die Flammen nicht berührt. Bei Anwendung von Saugeapparaten für genannte Räume eignen sich Wasserventilatoren, deren Betriebswasser alsdann zu Wirthschaftszwecken bezw. Spülung der Pissoirs Verwendung finden kann.

III. Entwurf.

Nachdem unter den gegebenen Bedingungen die Wahl des Lüftungssystems getroffen worden ist, hat zunächst die Gesammtanordnung der Anlage in ihren wichtigsten Theilen unter Anpassen an die Gebäude-Verhältnisse zu erfolgen. Die Berechnungs-Ergebnisse der Grössen-Verhältnisse einzelner Theile der Anlage haben auf die Möglichkeit der gewünschten Anordnung wesentlichen Einfluss, so dass theilweise die Berechnung mit dem Entwerfen Hand in Hand gehen muss. Der Entwurf einer Lüftungsanlage erfordert Umsicht und Erfahrung und ist nicht in bestimmte Regeln zu bannen, daher auch hier nicht weiter zu besprechen. Allgemein kann gesagt werden, dass derjenige Entwurf als der beste zu gelten hat, durch welchen ausser dem Effekt, die beste Uebersichtlichkeit und die leichteste Bedienung der Anlage gesichert wird.

IV. Berechnung einer Lüftungsanlage.

Die Berechnung einer Lüftungsanlage zerfällt in die Bestimmung derjenigen Theile bezw. Grössen, welche vor Berechnung der Kanalanlage erfolgen kann und in die Berechnung der Kanalanlage selbst, einschliesslich der etwa erforderlichen Ventilatoren oder nöthigen Temperatur der Abluft bei gegebenen Kanalquerschnitten.

Jede Kanalanlage besteht aus einer Reihe von Theilstrecken; für jeden Raum hat die Luft vom Anfang ab einen bestimmten Weg zu durchlaufen. Die Geschwindigkeit in den verschiedenen Kanälen steht in Abhängigkeit von einander, dabei muss in jedem Kanale die erforderliche Geschwindigkeit nach Massgabe der zu befördernden Luft erzielt werden.

Die Kanäle lassen sich bezüglich der einzelnen Räume in gemeinschaftliche und Einzelkanäle trennen, d. h. unter den Letzteren sind die jedem Raume für sich zukommenden Zu- und Abluftkanäle zu verstehen.

Bei jedem Zug von Kanälen können nun die Querschnitte einer Anzahl derselben lediglich nach Massgabe einer angenommenen er-

forderlichen Geschwindigkeit bestimmt werden, sofern die Querschnitte der anderen Kanäle derartig berechnet werden, dass die erforderlichen Geschwindigkeiten in den gewählten und berechneten Querschnitten auch wirklich eintreten.

1. Theile bezw. Grössen der Anlage, welche vor Berechnung der Kanäle zu bestimmen sind. Hierunter fallen neben dem erforderlichen stündlichen Luftwechsel eines jeden Raumes zunächst fast alle im fünften Kapitel angeführten einzelnen Theile bezw. Grössen einer Lüftungsanlage; die meisten derselben werden durch die „Bedingungen“ gegeben oder müssen zunächst der Berechnung unterliegen.

2. Kanäle, deren Querschnitte lediglich nach Annahme der erforderlichen Geschwindigkeit bestimmt werden können.

a) **Bei allen Anlagen.**

α) Kanal von der Entnahmestelle der frischen Luft bis zur Heizkammer. Die erforderliche Geschwindigkeit der Luft in diesem Kanal soll eine möglichst geringe sein, wenn angängig nicht über 1 m, besser darunter. Es ist stets zu beachten, dass die Widerstandshöhen mit dem Quadrate der Geschwindigkeit zunehmen und dass die Einzelkanäle für Zu- und Abluft bei Anlagen mit Temperaturdifferenzen um so kleinere Querschnitte erhalten — was meist erwünscht ist — je grösser die Querschnitte der anderen Kanäle sich gestalten. Bei Druck-, Sauge- bezw. Aspirationslüftung ist die Wahl geringer erforderlicher Geschwindigkeit noch von besonderem Werth, da sich die Betriebskraft bezw. die nothwendige Erwärmung der Abluft niedriger stellt.

Nach Massgabe der gewählten Geschwindigkeit ist der Querschnitt und unter Berücksichtigung der Gebäude-Verhältnisse die Querschnittsform zu bestimmen. Quadratischer oder runder Querschnitt ist stets dem oblongen wegen der geringeren Reibung vorzuziehen.

β) Vertheilungskanal der warmen Luft nach den Einzelkanälen. Auch in diesem Kanale soll eine geringe Luftgeschwindigkeit erforderlich sein, freilich ist zu beachten, dass bei grossem Querschnitte die Abkühlung der Luft eine grössere ist, als bei engerem Querschnitte. Demzufolge sind die den Kanal bildenden Wände gegen Wärmeabgabe möglichst zu schützen.

Ist die Wärmeabgabe der Wände unbedeutend, so kann auch eine ganz geringe Geschwindigkeit vorgesehen werden; auch ist es alsdann zulässig, dem Kanal von Anfang bis zu Ende den gleichen Querschnitt zu geben, mithin die Geschwindigkeit der Luft von Beginn zu Beginn der Einzelkanäle zu verringern; andernfalls ist es rathsam, sie zu etwa 1 m bis 1,2 m anzunehmen und den Querschnitt nach Massgabe des Beginns von Einzelkanälen unter allmählichen

Uebergängen zu verkleinern. Jedenfalls müssen die Kanäle aber so gross bemessen werden, dass sie noch reinigungsfähig sind.

γ) Sammelkanal der Abluft von Einzelkanälen. Ein solcher Kanal findet nur Anwendung, wenn die Abluft gesammelt und nicht von jedem Raume getrennt ins Freie geführt werden soll. Es ist zweckmässig dem Sammelkanal keinen grösseren Querschnitt zu geben, als die Summe der Querschnitte der in denselben mündenden Einzelkanäle ergiebt. Da bei Anlagen mittelst Temperaturdifferenz die aufsteigenden Einzelkanäle erst berechnet werden sollen, so ist es gut, die erforderliche Geschwindigkeit in dem Sammelkanal nicht zu gering, etwa 1 m bis 1,5 m, anzunehmen. Bei Anlagen ohne besondere Erwärmung der Abluft kann es freilich bei Annahme zu grosser Geschwindigkeit vorkommen, dass die Einzelkanäle zu bedeutende Querschnitte erhalten müssen und alsdann nicht unterzubringen sind, weil die wirksame Druckhöhe schon durch die in ihrem Querschnitte angenommenen Kanäle zum grössten Teile verbraucht worden ist und daher der Rest derselben der Luft in den Einzelkanälen nur geringe Geschwindigkeit ertheilen kann. In diesem Falle muss die erforderliche Geschwindigkeit geringer angenommen werden, besser aber ist es, statt einer Lüftungsanlage alsdann deren zwei vorzusehen, so dass die horizontale Kanalausdehnung sich vermindert.

b) **Bei Anlagen unter Anwendung von Temperaturdifferenzen ohne besondere Erwärmung der Abluft.** Bei diesen kann noch die erforderliche Geschwindigkeit in dem gemeinschaftlichen mit dem etwa vorhandenen Sammelkanal in Verbindung stehenden Abzugsschacht angenommen werden. Dieselbe ist zweckmässig gleich derjenigen im Sammelkanal oder um ein Geringes grösser zu setzen.

Es können mithin die Querschnitte aller Kanäle bis auf die Einzelkanäle für Zu- und Abluft unabhängig von einander bestimmt werden.

c) **Bei Anlagen unter Anwendung von Temperaturdifferenzen mit gemeinsamer Erwärmung der Abluft.** Die Temperatur, bis auf welche die gemeinsame Erwärmung stattfinden soll, kann entweder angenommen, oder muss, sofern eine Wärmequelle gegeben ist, zunächst bestimmt oder bei nicht bekannter Wärmequelle aus der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit berechnet werden.

α) Die Temperatur der Luft im gemeinsamen Abluftschacht ist gegeben bezw. nach freier Wahl anzunehmen, oder nach einer vorhandenen Wärmequelle (Rauchrohr etc.) vorher berechnet worden (s. S. 26), also bekannt. Sofern getrennte Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage stattfinden, d. h. sofern die Aspiration nur von einer angenommenen im Raume liegenden neutralen Zone ab wirksam sein soll, bezieht sich selbstver-

ständlich das Nachfolgende nur auf die Abluftanlage, sofern die Erwärmung der Abluft auch auf die Sicherung der Zuluft sich erstrecken soll, auf die Zu- und Abluftanlage gemeinsam.

Werden die Abluftkanäle auf dem Dachboden gesammelt, so ist die erforderliche Geschwindigkeit im Abzugsschachte etwa um 0,2 m grösser als im Sammelkanale anzunehmen. Es bleiben dann nur noch die Querschnitte der einzelnen Zu- und Abluftkanäle unbekannt.

Ist der Schacht hoch, was stattfindet, wenn die Abluftkanäle im Keller gesammelt werden, so kann entweder die Geschwindigkeit im Abluftschacht zu etwa 1,5 — 2 m oder diejenige in den Einzelkanälen des ungünstigst gelegenen Raumes angenommen werden.

Im ersten Falle bleiben dann nur die Querschnitte der sämmtlichen Einzelkanäle, im zweiten Falle der Schachtquerschnitt und die übrigen Einzelkanäle unbekannt.

Die Geschwindigkeit in den Einzelkanälen bei Fall 2 ist möglichst klein, etwa zu 0,7 m anzunehmen.

β) Die Temperatur der Luft im gemeinsamen Abluftschacht ist unbekannt und soll berechnet werden. In diesem Falle können die Querschnitte aller Kanäle des ungünstigst gelegenen Raumes unter Zugrundelegung der bereits angegebenen Geschwindigkeiten gewählt werden. Für die übrigen Räume ist alsdann die Temperatur der Abluft bestimmt. In der Praxis tritt dieser Fall selten ein, da zweckmässiger die Temperatur im Abzugsschacht von vornherein angenommen wird.

d) **Bei Anlagen unter Anwendung von Ventilatoren.** Bei diesen Anlagen kann für den ungünstigst gelegenen Raum die erforderliche Geschwindigkeit in allen Kanälen, welche noch unter dem Einflusse des Ventilators stehen, gewählt werden.

Bis zum Beginn der Einzelkanäle für Zuluft ist es zweckmässig nach dem unter a Gesagten zu verfahren, von hier ab aber die Geschwindigkeit für alle folgenden Kanäle gleich und zwar zweckmässig bis zu etwa 2 m anzunehmen.

Bei allen Kanälen ohne Ausnahme ist bei angenommener Geschwindigkeit der Querschnitt, bei angenommenem Querschnitt die Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der Temperatur der Luft zu berechnen (s. S. 37).

3. Kanäle, deren Querschnitte und Theile, sowie Grössen der Anlagen, welche nach Massgabe der Gleichungen für die erreichbare und erforderliche Geschwindigkeit bestimmt werden müssen. Hierher gehören alle Kanäle, deren Geschwindigkeit bezw. Querschnitt nach dem unter 2 Gesagten nicht angenommen werden kann, so wie die Temperatur bei gemeinsamer Erwärmung der Abluft und gegebenen Kanälen, als auch die Berechnung der Ventilatoren.

a) **Allgemeines für alle Anlagen.** Die lösungsfähige Aufstellung der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit kann zunächst nur dann erfolgen, wenn alle Widerstandshöhen der bereits bestimmten Kanäle und Theile aufgestellt und berechnet worden sind. Die Längen der Kanäle ergeben sich ohne weiteres aus dem Entwurfe, ebenso die einmaligen durch Anbringung von Klappen, Schiebern, Gittern u. s. w. hervorgebrachten Widerstände. Die Widerstandshöhen berechnen sich alsdann ohne Schwierigkeit (s. S. 46 u. f.).

Für die Kanalführung eines jeden Raumes lässt sich eine Gleichung aufstellen, welche wie die auf S. 45 angegebene lautet:

„Die wirksame Druckhöhe muss gleich sein der Geschwindigkeitshöhe bei Austritt der Luft, vermehrt um die bekannten und unbekannten Widerstandshöhen."

Die wirksame Druckhöhe ist nach Höhenlage der Räume und den etwa verschiedenen in den aufsteigenden Kanälen herrschenden Temperaturen für die Räume eine nicht gleiche, ebenso ergiebt sich für jeden Raum eine andere Summe der Widerstandshöhen. Damit nun aber für die Kanalführung eines jeden Raumes die zugehörige wirksame Druckhöhe aufgebraucht wird, kann die strenge Berechnung der noch unbekannten Theile nur durch Aufstellung der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit gesondert für einen jeden Raum erfolgen. Für die Praxis ist die Aufstellung dieser Gleichung indess meist nur, d. h. wenn die Anlage keine zu bedeutende horizontale Ausdehnung besitzt, für die ungünstigst, also von der Heizkammer entferntest gelegenen Räume eines jeden Stockwerkes des Gebäudes erforderlich.

Der für diese Räume sich ergebende Ausdruck der erreichbaren Geschwindigkeit kann alsdann für alle Räume des gleichen Stockwerks, natürlich unter Berücksichtigung des jedem Raume zukommenden erforderlichen Luftwechsels benutzt werden.

Die Einzelkanäle der günstiger gelegenen Räume erhalten dann allerdings etwas zu grosse Querschnitte, doch kann durch Anordnung einer festzustellenden Klappe, also Einschaltung eines Widerstandes, die Einhaltung nur des erforderlichen Luftwechsels erreicht werden.

Bei getrennter Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage hat jeder Zuluft- und jeder Abluftkanal, bei Drucklüftung nur jeder Zuluft-, bei Saugelüftung nur jeder Abluftkanal eine solche Klappe zu erhalten.

Bei grosser horizontaler Ausdehnung des Gebäudes oder wenn die Einzelkanäle für Zuluft und Abluft möglichst kleinen Querschnitt erhalten sollen oder wenn eine Luftheizung vorgesehen wird, ist es zu empfehlen, die genaue Berechnung der noch nicht gewählten Kanäle nicht nur für die ungünstigst gelegenen Räume aller Stockwerke, sondern auch für einen günstiger gelegenen Raum eines jeden

Stockwerks anzustellen und die Gleichung der erreichbaren Geschwindigkeit bis zu den weiter vor gelegenen Räumen, für welche wieder genaue Berechnung stattfinden soll, beizubehalten. Da in der Praxis die Kanäle meistens in Mauermassen ausgeführt werden, so sind häufig die Querschnitte grösser zu bemessen, als erforderlich. Die bereits erwähnten einmal einzustellenden und alsdann in ihrer Lage zu belassenden Klappen beseitigen den sonst in Wirksamkeit tretenden Fehler.

Die genaue Berechnung hat somit in erster Linie den Zweck, keine zu klein bemessenen, in zweiter Linie keine unnöthig grossen Kanalquerschnitte zu erhalten. Sofern man diesen Grundsatz festhält und die Massbestimmung der Kanäle nicht über die Grenzen praktischer Ausführbarkeit ausdehnt, ist die Berechnung ohne Schwierigkeit und nennenswerthe Zeitverluste durchzuführen. — Die später folgenden Beispiele werden das Gesagte bestätigen.

Für die bequeme Berechnung ist es zu empfehlen, für die in Rechnung zu ziehenden Räume eine in eine Ebene gebrachte schematische Darstellung der Anlage anzufertigen, wie solche bei den späteren Beispielen benutzt werden soll.

Da die Abluftkanäle meistens am Fussboden und an der Decke Oeffnungen besitzen, so ist jederzeit die Länge der Abluftkanäle und die für die wirksame Druckhöhe in Frage kommende senkrechte Höhe von derjenigen Oeffnung ab zu messen, welche der Luft den weitesten Weg anweist, gleichzeitig ist auch die betreffende Temperatur der Abluft nach Massgabe der Höhenlage der Abluftöffnung in Rechnung zu bringen.

Besitzen steigende Zuluftkanäle, sofern sie wärmere Luft als die im Raume befindliche fördern, ebenfalls 2 zu verschiedenen Zeiten zu benützende Oeffnungen in verschiedener Höhe, so ist von der niedrigsten Oeffnung aus die Länge der Kanäle und die senkrechte Höhe zu bemessen.

b) **Anlagen unter Anwendung von Temperaturdifferenzen ohne besondere Erwärmung der Abluft.** Bei diesen Anlagen ist, wie bereits erwähnt, zu empfehlen, eine Gleichgewichtslage der inneren mit der äusseren Luft etwa am Fussboden der Räume anzunehmen (vergl. II, a). Die Zuluft- und Abluftanlage ist also dann getrennt zu behandeln. Die eigentliche Berechnung beschränkt sich nach dem früher Gesagten lediglich auf Bestimmung der Querschnitte der Einzelkanäle für Zu- und Abluft.

Fig. 7 zeigt den gegebenen Fall. Die ungünstigst gelegenen Räume sind I und II, Raum (9) stellt die Heizkammer, (11) die Staubkammer dar.

Fall 1. Annahme: Gleichgewichtslage der inneren mit der äusseren Luft über Fussboden in Mitte des Abluftkanals; mithin getrennte Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage.

Die Zerlegung der Theilstrecken soll in diesem Fall die Zahl 12 ergeben.

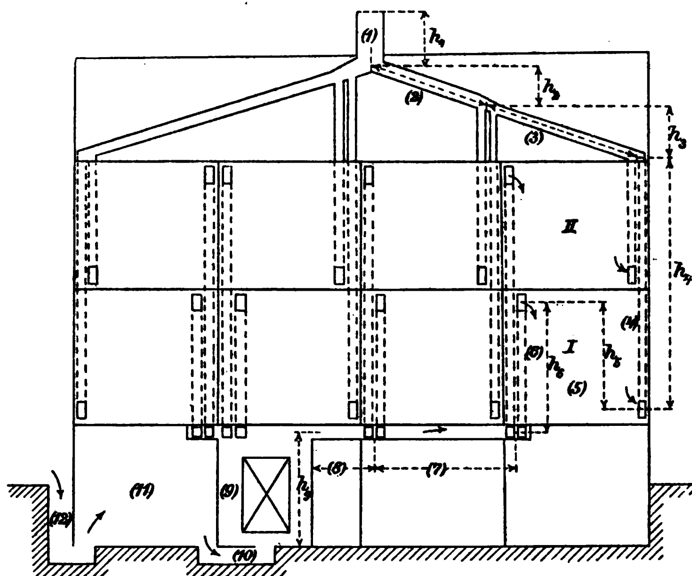


Fig. 7

Die Geschwindigkeit der Luft im Vertheilungs- und Sammelkanal oder die Querschnitte ändern sich von Mündung zu Mündung der Einzelkanäle. Liegen Einzelkanäle dicht nebeneinander, so sind die betreffenden Aenderungen zu vernachlässigen und die Theilstrecken etwa von Mitte zu Mitte der Abzweige anzunehmen, wie dies auch im vorliegenden Falle geschehen ist. Alle Grössen ein und derselben Theilstrecke erhalten im Folgenden jederzeit als Kennziffer die betreffende Nummer der Theilstrecken; die Bezeichnungen selbst sind stets die im 5. Kapitel, Abschnitt II, 4 gebrauchten; t_0 bezeichnet immer die höchste äussere Temperatur, bei welcher der volle Effekt der Anlage erzielt werden soll, L der erforderliche stündliche Luftwechsel gegeben in der Temperatur t (ohne Kennziffer) gemessen in Kopfhöhe im Raume.

α) Zuluftanlage. Dieselbe umfasst die Theilstrecken 5 bis 12; ausser Theilstrecke (Kanal) 6 sind alle Grössen bezw. Theile der Anlage nach dem Früheren unabhängig von einander zu bestimmen.

Dieses angenommen sind die Widerstandshöhen der Theilstrecken 7 bis 12 bekannt, sie haben jederzeit den allgemeinen Ausdruck

$$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} W,$$

sofern ein Kanal dem andern folgt,

$$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+W),$$

sofern die vorhergehende Theilstrecke ein sehr grosser Raum, also die Geschwindigkeit in demselben $= 0$ ist.

Es ist ferner stets

$$W = \frac{\rho l u}{f} + \Sigma\xi.$$

Für die Heizkammer (Theilstrecke 9) ist die Temperatur $t_9 = \frac{t_{10} + t_8}{2}$, für die Temperatur t_5 die mittlere Raumtemperatur zwischen Fussboden und Decke zu setzen, ausserdem ist im vorliegenden Fall $t_{10} = t_{11} = t_{12} = t_0$ (Aussentemperatur).

Die erforderliche Geschwindigkeit v_6 in Theilstrecke 6 ist, da der Luftwechsel L des Raumes I in der Temperatur t gegeben ist:

$$v_6 = \frac{L(1+\alpha t_6)}{(1+\alpha t)\,3600\, f_6}; \qquad (33^a)$$

f_6 ist unbekannt.

Die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit lautet alsdann:

$$\frac{1}{1+\alpha t_0}(-h_5 + h_6 + h_9) + \frac{h_5}{1+\alpha t_5} - \frac{h_6}{1+\alpha t_6} - \frac{h_9}{1+\alpha t_9}$$
$$= \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}\left(1 + \frac{\rho_6 l_6 u_6}{f_6} + \Sigma\xi_6\right) + \frac{v_7^2}{2g(1+\alpha t_7)} W_7 + \frac{v_8^2}{2g(1+\alpha t_8)} W_8 +$$
$$+ \frac{v_9^2}{2g(1+\alpha t_9)} W_9 + \frac{v_{10}^2}{2g(1+\alpha t_{10})} W_{10} + 0 + \frac{v_{12}^2}{2g(1+\alpha t_{12})}(1+W_{12}), \qquad (33^b)$$

sofern die Staubkammer (11) so gross ist, dass $v_{11} = 0$ gesetzt werden kann.

Alle Werthe sind bekannt bis auf v_6, f_6, u_6 und ρ_6. Werden alle bekannten Grössen, soweit dies möglich ist, auf die linke Seite gebracht und mit D_1 bezeichnet, so geht Gleichung 33[b] in die andere über:

$$D_1 = v_6^2\left(1 + \frac{\rho_6 l_6 u_6}{f_6} + \Sigma\xi_6\right)$$

und ist alsdann:

$$v_6 = \sqrt{\frac{D_1}{1 + \frac{\rho_6 l_6 u_6}{f_6} + \Sigma\xi_6}}. \qquad (33^c)$$

Zur Lösung dieser Gleichung nehme man f_6 und u_6 probeweise an, alsdann ist auch ρ_6 bestimmt. Das sich ergebende v_6 muss mit dem aus Gleichung 33ª nach Einsetzung des angenommenen Werthes von f_6 zu berechnenden (erforderlichen) v_6 übereinstimmen. Kleine Abweichungen können schon wegen der Möglichkeit der Ausführung der Kanäle in Mauermass gestattet werden, keinesfalls darf aber die erreichbare Geschwindigkeit (Gleichung 33ᶜ) kleiner als die erforderliche (Gleichung 33ª) sein. Ist bei den gemachten Annahmen Gleichheit nicht erreicht, so muss die Rechnung unter probeweiser Annahme eines anderen f_6 und u_6 wiederholt werden.

Bezüglich der anderen Räume desselben Stockwerks ist die Gleichung der erreichbaren Geschwindigkeit meist beizubehalten (vgl. S. 59), nur muss in der Gleichung 33ª für die erforderliche Geschwindigkeit der entsprechende Luftwechsel des betreffenden Raumes eingesetzt werden.

Was den Raum II und die übrigen Räume desselben Stockwerks betrifft, so ist genau dieselbe Rechnung wie für Raum I und die Räume dieses Stockwerks anzustellen.

β) Abluftanlage. Dieselbe umfasst die Theilstrecken 1 bis 4, von denen 1 bis 3 zu wählen, also bekannt sind. Die Gleichungen sind ohne weiteres hinzuschreiben, sie lauten für die erforderliche Geschwindigkeit:

$$v_4 = \frac{L(1+\alpha t_4)}{(1+\alpha t)\,3600\,f_4}, \qquad (34^a)$$

für die erreichbare Geschwindigkeit:

$$\frac{1}{1+\alpha t_0}(h_4+h_3+h_2+h_1) - \frac{h_4}{1+\alpha t_4} - \frac{h_3}{1+\alpha t_3} - \frac{h_2}{1+\alpha t_2} - \frac{h_1}{1+\alpha t_1}$$
$$= \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+W_1) + \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}W_2 + \frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)}W_3 +$$
$$+ \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}\left(\frac{\rho_4 l_4 u_4}{f_4} + \Sigma\xi_4\right). \qquad (34^b)$$

In diesen Gleichungen sind alle Werthe bis auf v_4, ρ_4, u_4 und f_4 bekannt; da eine besondere Erwärmung der Abluft nicht erfolgen soll, ist, sofern die Kanäle geschützt liegen, $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t$ zu setzen.

Werden die bekannten Grössen, soweit dies möglich ist, auf die linke Seite der Gleichung gebracht und der berechnete Werth derselben mit D_2 bezeichnet, so ergiebt sich der Ausdruck:

$$D_2 = v_4^2\left(\frac{\rho_4 l_4 u_4}{f_4} + \Sigma\xi_4\right)$$

und somit die erreichbare Geschwindigkeit:

$$v_4 = \sqrt{\frac{D_2}{\frac{\rho_4 l_4 u_4}{f_4} + \Sigma \xi_4}}. \qquad (35)$$

Die Lösung erfolgt genau wie bei der Zuluftanlage nach probeweiser Annahme von f_4 und u_4 durch Berechnung von dem erforderlichen und erreichbaren v_4 (Gleichung 34ª bezw. 35), welche gleich sein sollen. Haben alle Abluftkanäle gleiche Länge und einmalige Widerstände und gehen unmittelbar über Dach, so ist die Beibehaltung des Ausdruckes für die erreichbare Geschwindigkeit für alle in demselben Stockwerke liegenden Räume nicht nur bedingt, sondern unbedingt richtig.

Fall 2. Gemeinsame Berechnung der Zu- und Abluftanlage.

Ist es gleichgültig, ob Ueber- oder Unterdruck in den zu lüftenden Räumen herrscht und ob der geforderte Luftwechsel streng eingehalten zu werden braucht, dann kann auch allenfalls (vergl. Kapitel 6, IIa) gemeinsame Berechnung der Einzelkanäle für Zu- und Abluft erfolgen; empfohlen soll dieselbe indess nicht werden.

Die Gleichungen (33ᵇ und 34ᵇ) für Bestimmung der erreichbaren Geschwindigkeit in den Einzelkanälen für Zu- und Abluft sind dann einfach zu addiren.

In der dann erhaltenen Gleichung sind:

$$v_4, \rho_4, u_4, f_4, v_6, \rho_6, u_6 \text{ und } f_6$$

nicht bekannt.

Es wird nun v_4 zu v_6, da durch die betreffenden Kanäle dieselbe Luftmenge (dem Gewichte nach) hindurchgeht, in ein anzunehmendes Verhältniss zu einander gebracht; das einfachste ist $f_4 = f_6$, $u_4 = u_6$ und daher auch $\rho_4 = \rho_6$ zu setzen, alsdann verhält sich:

$$v_4 : v_6 = \frac{1}{1 + \alpha t_6} : \frac{1}{1 + \alpha t_4},$$

mithin ist

$$v_6 = \frac{v_4 (1 + \alpha t_6)}{1 + \alpha t_4}, \qquad (36)$$

Diesen Werth in die Gleichung eingesetzt ergiebt dann nur noch ein unbekanntes v_4, ρ_4, f_4 und u_4. Alles Weitere wie bei Fall 1.

c) **Anlagen unter Anwendung von Temperaturdifferenzen mit besonderer Erwärmung der Abluft.** Bei diesen Anlagen wird im allgemeinen angestrebt, bei der höchsten äusseren Temperatur durch die Erwärmung der Abluft auch die Zuführung von Luft nach den Räumen zu sichern. (Ueber Anwendung s. u. II.) Es muss alsdann die Berechnung gemeinsam für die Zuluft- und Abluftanlage wie unter b, Fall 2 erfolgen und stellt

sich in den gelüfteten Räumen Unterdruck ein. Soll nur die Abluft gesichert werden, die Zuluft aber durch sich wirksam bleiben, so ist wie unter b, Fall 1 getrennte Berechnung der Einzelkanäle für Zu- und Abluft vorzunehmen; ebenso bei Annahme eines bestimmten Unterdrucks in den Räumen (s. S. 45).

Fall 1. Gemeinsame Berechnung der Zu- und Abluftanlage; alle Temperaturen sind bekannt.

Figur 8 zeigt die Anlage im Keller und die ungünstigst gelegenen Räume I und II, für welche die Berechnung anzustellen ist. Nach der Figur ist:

$$t_{20} = t_{19} = t_{18} = t_{17} = t_0, \quad t_{16} = \frac{t_{17} + t_{15}}{2}, \quad t_2 = \frac{t_3 + t_1}{2},$$

$t_{14} = t_{13} = \cdots = t_9$, $t_8 =$ mittlere Temperatur zwischen Fussboden und Decke, $t_3 = t_4 = \cdots = t_7$ zu setzen.

α) Der Querschnitt des Abluftschachts (1) ist nach Massgabe der angenommenen Geschwindigkeit v_1 bekannt. Die Anlage ist genau wie die unter b, Fall 2 zu behandeln, da nur Kanal 7 und 9 unbekannt sind.

Zweckmässig wird $f_7 = f_9$ und $u_7 = u_9$ gesetzt, alsdann ist:

$$v_7 = \frac{v_9 (1 + \alpha t_7)}{1 + \alpha t_9}. \tag{37a}$$

Die erforderliche Geschwindigkeit für Kanal 9 lautet:

$$v_9 = \frac{L (1 + \alpha t_9)}{3600 f_9 (1 + \alpha t)} \tag{37b}$$

und für die erreichbare Geschwindigkeit gilt die Gleichung:

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{1 + \alpha t_0}(h_1 + h_2 - h_7 - h_8 + h_9 + h_{14} - h_{15} + h_{16}) - \frac{h_1}{1 + \alpha t_1} - \frac{h_2}{1 + \alpha t_2} + \\
&\quad + \frac{h_7}{1 + \alpha t_7} + \frac{h_8}{1 + \alpha t_8} - \frac{h_9}{1 + \alpha t_9} - \frac{h_{14}}{1 + \alpha t_{14}} + \frac{h_{15}}{1 + \alpha t_{15}} - \frac{h_{16}}{1 + \alpha t_{16}} \\
&\quad = \frac{v_1^2}{2g (1 + \alpha t_1)}(1 + W_1) + \frac{v_2^2}{2g (1 + \alpha t_2)} W_2 + \cdots + \frac{v_6^2}{2g (1 + \alpha t_6)} W_6 + \\
&\quad + \frac{v_7^2}{2g (1 + \alpha t_7)}\left(\frac{\rho_7 l_7 u_7}{f_7} + \Sigma \xi_7\right) + \frac{v_9^2}{2g (1 + \alpha t_9)}\left(1 + \frac{\rho_9 l_9 u_9}{f_9} + \Sigma \xi_9\right) + \\
&\quad + \frac{v_{10}^2}{2g (1 + \alpha t_{10})} W_{10} + \cdots + \frac{v_{18}^2}{2g (1 + \alpha t_{18})} W_{18} + 0 + \\
&\quad + \frac{v_{20}^2}{2g (1 + \alpha t_{20})}(1 + W_{20}) + h',
\end{aligned} \tag{37c}$$

sofern h' die Widerstandshöhe des eingeschalteten Filters bedeutet und die Staubkammer (19) so gross ist, dass $v_{19} = 0$ wird.

Nach Einführung von dem Werth für v_7 (s. Gleichung 37[a]) und von $f_7 = f_9$ und $u_7 = u_9$ befinden sich in der Gleichung nur noch als Unbekannte v_9, f_9, u_9 und ist die weitere Behandlung genau wie unter b, Fall 2 angegeben.

β) Der Querschnitt des Abluftschachts ist zu berechnen. In diesem Falle werden die Einzelzuluft- und Abluftkanäle nach einer angenommenen Geschwindigkeit bestimmt (s. S. 58).

Die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit bleibt naturgemäss dieselbe wie unter α, bekannt sind alle Werthe mit Ausnahme von:

$$\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+W_1) = \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}\left(1 + \frac{\rho_1 l_1 u_1}{f_1} + \Sigma\xi_1\right). \qquad (38^a)$$

Die erforderliche Geschwindigkeit für den Schacht lautet, wenn ΣL die gesammte Luftmenge, welche er zu fördern hat, gegeben in der Temperatur t bedeutet:

$$v_1 = \frac{\Sigma L(1+\alpha t_1)}{3600 f_1 (1+\alpha t)}. \qquad (38^b)$$

Die weitere Behandlung ist genau wie die unter b angegebene.

Fall 2. Gemeinsame Berechnung der Zu- und Abluftanlage; die Temperatur im Abluftschacht ist durch Rechnung zu finden.

Angenommen werden die Geschwindigkeiten in allen Kanälen des ungünstigst gelegenen Raumes (II), somit auch die Querschnitte der Kanäle. Die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit bleibt wie immer dieselbe, alle Werthe sind bekannt mit Ausnahme der Temperatur t_1 bezw. bei Anordnung einer Heizkammer, durch welche die Luft hindurch geführt wird $t_2 = \frac{t_1 + t_3}{2}$.

Die erforderliche Geschwindigkeit im Abluftschacht ist:

$$v_1 = \frac{L(1+\alpha t_1)}{3600 f_1 (1+\alpha t)},$$

wenn t die Temperatur ist, in welcher L gegeben.

Wird

$$\frac{L}{3600(1+\alpha t)} = m$$

gesetzt, so ist dann die erforderliche Geschwindigkeit:

$$v_1 = \frac{m(1+\alpha t_1)}{f_1}. \qquad (39^a)$$

Die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhe des Schachtes in der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit lautet:

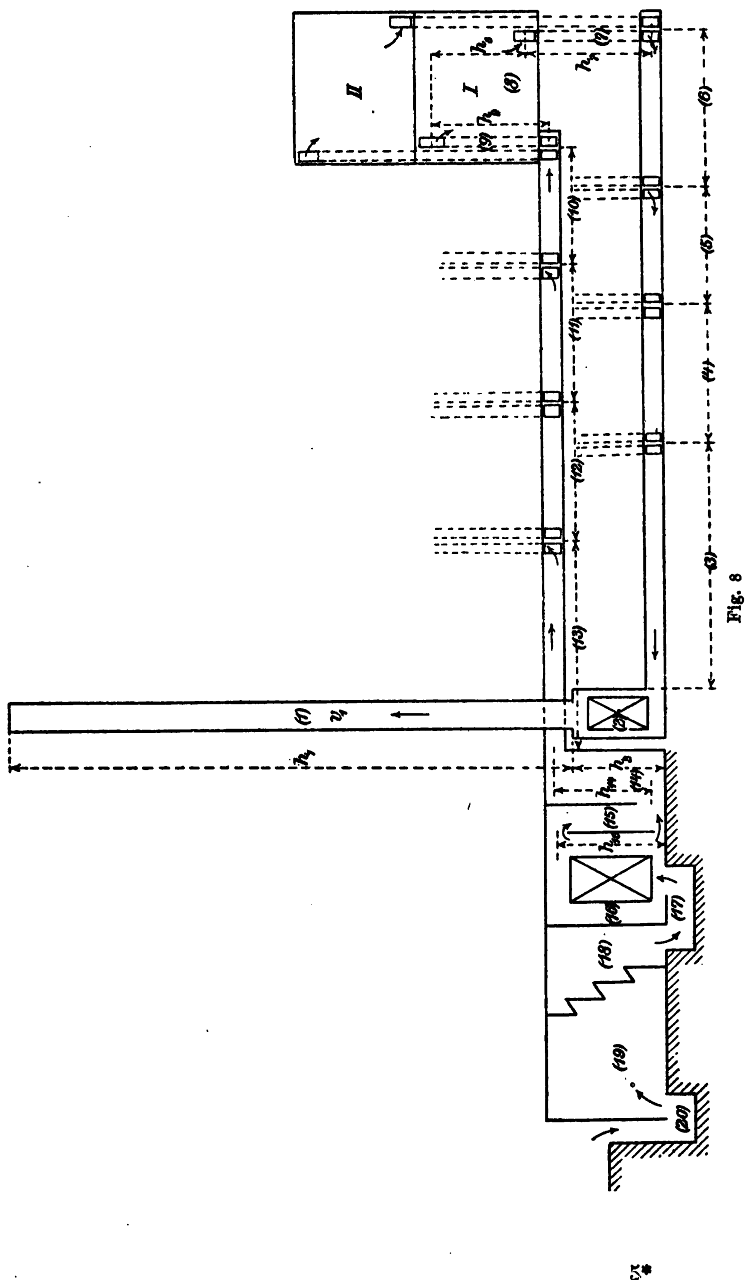


Fig. 8

$$\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}\left(1+\frac{\rho_1 l_1 u_1}{f_1}+\Sigma\xi_1\right),$$

nach Einsetzung des erforderlichen v_1 dagegen:

$$\frac{m^2(1+\alpha t_1)}{2g f_1^2}\left(1+\frac{\rho_1 l_1 u_1}{f_1}+\Sigma\xi_1\right). \qquad (39^b)$$

Nach Einsetzung dieses Ausdrucks in die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit (Gleichung 37^c) ergiebt sich für $1+\alpha t_1$ eine ohne Schwierigkeit zu lösende quadratische Gleichung, sofern für die Aufstellung der wirksamen Druckhöhe h_2 unberücksichtigt bleibt und dafür h_1 bei Vorhandensein einer Heizkammer, durch welche alle Luft hindurchgeführt wird, um die halbe Höhe der Heizkammer grösser angenommen, also statt

$$\frac{h_1}{1+\alpha t_1}+\frac{h_2}{1+\alpha t_2}$$

gesetzt wird:

$$\frac{h_1+\frac{h_2}{2}}{1+\alpha t_1}.$$

Ist $1+\alpha t_1 = n$ gefunden, so ist:

$$t_1 = 273\,(n-1).$$

Da t_1 aus ökonomischen Gründen nicht viel über 40—50° ergeben soll, so muss $n > 1$ und $< 1{,}2$ sein, es ist daher zu empfehlen, die Rechnung möglichst genau auszuführen. Wird t_1 zu gross, so müssen die Kanäle weiter im Querschnitte gemacht werden. Für Raum I und die übrigen Räume ist die Temperatur t_1 vorgeschrieben, also für dieselben gemäss Fall 1, α zu verfahren.

d) **Anlagen unter Anwendung von Ventilatorenbetrieb.** Bei Anwendung von Drucklüftung und gemeinsamer Berechnung der Zu- und Abluftanlage herrscht Ueberdruck in den Räumen, bei Saugelüftung und gemeinsamer Berechnung Unterdruck. Soll der Ueber- oder Unterdruck eine bestimmte Grösse haben oder die Wirkung der Ventilatoren nur auf Zuluft oder Abluft beschränkt bleiben, so ist getrennte Berechnung der Zu- und Abluftanlage anzunehmen (s. S. 45).

Fall 1. Die Grösse des Ueber- oder Unterdrucks in den zu lüftenden Räumen ist gleichgültig.

Da nach Früherem die Geschwindigkeit in allen Kanälen des ungünstigst gelegenen Raumes gewählt werden kann, so erstreckt sich die Berechnung für diesen eigentlich nur auf die Bestimmung der Druckhöhe, die der Ventilator hervorzubringen hat, bezw. auf die Betriebskraft desselben.

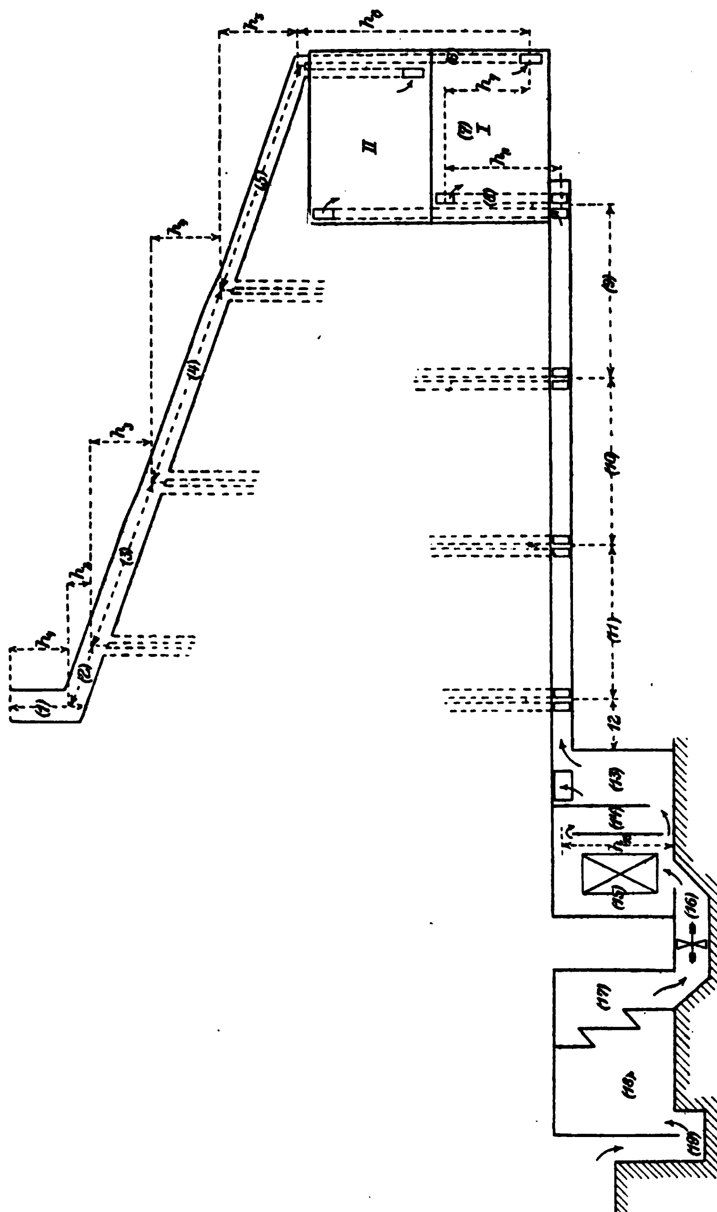


Fig. 9

Die allgemeine Gleichung zur Berechnung der erforderlichen Druckhöhe des Ventilators lautet:

$$M = h' - \Sigma K - D \qquad (40)$$

wenn bedeutet:

M die Druckhöhe des Ventilators in m einer Luftsäule von 0°,
h' die Widerstandshöhe des etwa angewendeten Filters (s. Gleichung 11),
ΣK die Summe aller Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen der Kanalanlage für den ungünstigst gelegenen Raum,
D die wirksame, durch Wärmeunterschiede gebildete Druckhöhe der Anlage für den ungünstigst gelegenen Raum.

Ist für den ungünstigsten Fall die Temperatur der inneren Luft durchgängig gleich der äusseren, so ist $D = 0$, ist sie kleiner, so ergiebt sich D negativ.

Die Grösse des Ventilators bezw. der Betriebskraft desselben ist mittelst der Ausdrücke 18 bezw. 19 zu berechnen.

Für alle übrigen Räume kann die Geschwindigkeit in den Einzelkanälen gleich derjenigen für den ungünstigst gelegenen Raum unter der Voraussetzung angenommen werden, dass die früher erwähnten Regelungsklappen angeordnet werden; andernfalls sind die Druckhöhe des Ventilators und die gemeinschaftlichen Kanäle bekannt und müssen die Querschnitte der Einzelkanäle wie früher berechnet werden.

Fall 2. Die Grösse des Ueber- oder Unterdrucks in einer Horizontalebene der zu lüftenden Räume soll einer Luftsäule von der Höhe H m in Luft von 0° entsprechen.

In diesem Falle kann nicht die Geschwindigkeit der Luft in allen Kanälen gewählt werden, d. h. bei Drucklüftung muss zunächst die Geschwindigkeit in den Einzelkanälen der Abluftanlage, bei Saugelüftung diejenige in den Einzelkanälen der Zuluftanlage durch Rechnung und alsdann die Leistung des Ventilators bestimmt werden. Es sind mithin für die Zuluft- und Abluftanlage zwei getrennte Gleichungen aufzustellen, und zwar lauten dieselben bei Drucklüftung für die Zuluftanlage:

$$M - H + D_2 = \frac{v_8^2}{2g(1+\alpha t_8)}\left(1 + \frac{\rho_8 l_8 u_8}{f_8} + \Sigma\xi_8\right) + \text{Summe aller übrigen Widerstandshöhen} + h', \qquad (41^a)$$

für die Abluftanlage:

$$H + D_1 = \text{Geschwindigkeitshöhe der ins Freie tretenden Abluft} + \text{alle von Theilstrecke 1 bis 5 vorhandenen Widerstandshöhen} + \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}\left(\frac{\rho_6 l_6 u_6}{f_6} + \Sigma\xi_6\right); \qquad (41^b)$$

bei Saugelüftung
für die Zuluftanlage:

$$H + D_2 = \frac{v_8^2}{2g(1+\alpha t_8)}\left(1 + \frac{\rho_8 l_8 u_8}{f_8} + \Sigma\xi_8\right) + \text{Summe der übrigen Widerstandshöhen,} \qquad (42^a)$$

für die Abluftanlage:

$M - H + D_1$ = Geschwindigkeitshöhe der austretenden Luft + alle von Theilstrecke 1 bis 5 vorhandenen Widerstandshöhen

$$+ \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}\left(\frac{\rho_6 l_6 u_6}{f_6} + \Sigma\xi_6\right), \qquad (42^b)$$

worin ausser den bereits von früher bekannten Grössen:

D_1 und D_2 die dem ungünstigsten Raume der Abluft- bezw. Zuluftanlage zukommende wirksame durch Wärmeunterschiede gebildete Druckhöhe bedeutet; es ist $D_1 + D_2 = D$ (Gleichung 40).

V. Berechnung von Lüftungsanlagen in der Praxis.

In der Praxis kann man für die Berechnung 2 Fälle unterscheiden — der eine bezieht sich auf den dem Auftraggeber zu liefernden Entwurf, der andere auf den Entwurf für die Ausführung der Anlage.

Bei Abgabe des Entwurfs kommt es auf die allgemeine Anordnung der Anlage und ihrer einzelnen Theile und auf einen einzuhaltenden Kostenanschlag an, dagegen weniger auf die Angabe der genauen Masse für die Kanäle; für die Ausführung dagegen müssen die Letzteren genau ermittelt sein.

Ein genau berechneter Entwurf verursacht Arbeit und Kosten, die naturgemäss bei Ablehnung desselben vergeblich geleistet worden sind. Es ist daher dem Auftragnehmer zu gestatten, 2 Berechnungen anzustellen, die erste für den Kostenanschlag, die zweite erst nach Uebertragung der Arbeit für die Ausführung.

a) **Berechnung der Anlage für den Kosten-Anschlag.** Eine genaue Bestimmung müssen alle diejenigen Grössen bezw. Theile der Anlage erfahren, welche auf den Entwurf selbst und auf den Kostenanschlag von Einfluss sind. Hierher gehören die meisten der im vorigen Kapitel angeführten Grössen bezw. Theile der Anlage. Diese Bestimmung erfordert keinen grossen Aufwand an Mühe und Zeit; die genaue für die Ausführung anzustellende Berechnung der in diesem Kapitel unter IV, 3 besprochenen Ermittelungen ist die bei weitem umständlichste. Reicht bei Ventilatorenbetrieb die Erfahrung nicht aus um eine Abschätzung der Grösse und Betriebskraft anzustellen, so ist allerdings auch für den Anschlag eine genaue Berechnung nicht zu umgehen, sie bedingt aber, da die erforderlichen Ge-

schwindigkeiten in allen Kanälen (mit Ausnahme, wenn ein bestimmter Ueber- oder Unterdruck in den Räumen herrschen soll) für den ungünstigsten Raum angenommen werden können, somit die Querschnitte so wie so bestimmt werden müssen, nur geringe Mühe.

Statt der genauen Berechnung der nicht nach der angenommenen erforderlichen Geschwindigkeit bestimmten Querschnitte der Kanäle, können mit genügender Genauigkeit, allerdings nur für den Anschlag, die Werthe aus der Tabelle 4 entnommen werden. Dieselbe hat keinerlei Anspruch auf Genauigkeit, sichert aber im Durchschnitt die Preise der nach derselben bestimmten Klappen, Schieber u. s. w.

Statt der genauen Berechnung der Temperatur bei gegebener Grösse des Abzugsschachtes, kann bei einiger Erfahrung für den Anschlag eine Temperatur angenommen werden.

b) **Berechnung der Anlage für die Ausführung.** Nach Ertheilung des Zuschlags auf Grund des Entwurfs und des Anschlags ist vom Auftragnehmer zu fordern, die Anlage einer genauen Berechnung zu unterziehen. Die unter IV, 1, 2 bereits für den Anschlag genau bestimmten Grössen und Theile bleiben dieselben, nur muss die Berechnung nunmehr nach IV, 3 auf die für den Anschlag nur überschläglich bestimmten Grössen bezw. Theile ausgedehnt werden.

Es ist möglich, dass die genaue Berechnung noch Abänderungen des Entwurfs bedingt; diese sollten vom Auftraggeber niemals abgelehnt werden, selbst wenn eine Kostensteigerung, die bei genügender Erfahrung des Auftragnehmers nur eine geringe sein kann, damit verknüpft ist. Die genaue Durchrechnung eines Entwurfs kostet allerdings bedeutend mehr Zeit und Mühe als einfache auf praktischem Gefühle und willkürlichen Annahmen gegründete Faustrechnungen, sie allein sichert aber den geforderten Effekt der Anlage. Mit Hülfe der diesem Leitfaden beigegebenen Tabellen ist die Arbeit bei weitem nicht so bedeutend, als sie nach den aufgestellten Gleichungen zu sein scheint. Die folgenden Beispiele werden das Gesagte bestätigen.

VI. Beispiele für Berechnung von Lüftungs-Anlagen.

A) **Lüftung mittelst Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft.**

Beispiel 1. Aufgabe. Zu lüften sind 8 Räume, jeder Raum hat 34 junge Männer aufzunehmen. Länge eines jeden Raumes: 8 m, Breite: 5 m, Höhe: 4,2 m. Innentemperatur in Kopfhöhe: + 20°, Einströmungstemperatur der Luft + 20°. Höchste Aussentemperatur, bis zu welcher der volle Luftwechsel erzielt werden soll: 0°. Niedrigste

Aussentemperatur, bis zu welcher der volle Luftwechsel erzielt werden soll: — 10°. Höchster zulässiger Kohlensäuregehalt: 1,3 ‰. Die Räume werden nur bei Tagesbeleuchtung benutzt. Die neutrale Zone (Gleichgewichtslage der inneren mit der äusseren Luft) befinde sich über Fussboden in Mitte der Abluftöffnung. Die Tiefe der Querschnitte der aufsteigenden Einzelkanäle soll 0,27 m betragen.

Lösung der Aufgabe. Dieselbe hat für die Abluft- und Zuluftanlage getrennt zu erfolgen.

1. Für den ersten Entwurf und Kosten-Anschlag.

a) **Luftwechsel in den einzelnen Räumen.** Bei 1,3 ‰ CO_2 beträgt der stündliche Luftwechsel (s. Gleichung 6b) für eine Person:

$$\frac{0{,}0174}{0{,}0013 - 0{,}0004} = 19{,}33 \sim 20 \text{ cbm von } 20°.$$

Der Inhalt eines Raumes beträgt 168 cbm; es ergiebt sich mithin ein $\frac{34 \cdot 20}{168} = 4{,}05$facher Luftwechsel; derselbe ist einhaltbar (vergl. S. 11).

b) **Luftmenge, welche bei der niedrigsten Aussentemperatur von —10° zu entnehmen und am Heizapparat zu erwärmen ist.**

$$L = \frac{8 \cdot 680\,(1 - \alpha \cdot 10)}{1 + \alpha \cdot 20} = 4883 \text{ cbm von } -10°.$$

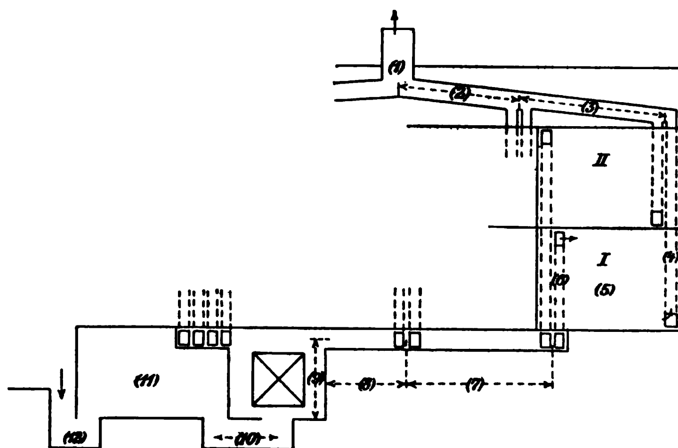


Fig. 10

c) **Disposition der Anlage.** Dieselbe ergiebt für jeden der ungünstigst gelegenen Räume I und II im Ganzen 12 Theilstrecken. Fig. 10 zeigt die Anlage für diese Räume in schematischer Darstellung.

d) **Luftmengen, welche durch die verschiedenen Theilstrecken bei der höchsten Aussentemperatur zu fördern sind.**

Theilstrecke	1.	Luftmenge:	$680 \cdot 8 = 5440$	cbm	von	20°
„	2.	„	$680 \cdot 4 = 2720$	„	„	20°
„	3.	„	$680 \cdot 2 = 1360$	„	„	20°
„	4, 5 und 6.	„	$680 \cdot 1 = 680$	„	„	20°
„	7.	„	$680 \cdot 2 = 1360$	„	„	20°
„	8.	„	$680 \cdot 4 = 2720$	„	„	20°
„	9.	„	$\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 10)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5255$	„	„	10°
„	10, 11 und 12.	„	$\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 0)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5068$	„	„	0°

e) **Geschwindigkeiten der Luft bezw. Kanalquerschnitte, soweit dieselben angenommen werden können oder gegeben sind.**

Theilstrecke 1. Angenommen $v_1 = 1{,}4$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_1 = \frac{5440}{3600 \cdot 1{,}4} = 1{,}08 \text{ qm} = 0{,}75 \text{ m} \times 1{,}44 \text{ m},$$

„ 2. „ $v_2 = 1{,}2$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_2 = \frac{2720}{3600 \cdot 1{,}2} = 0{,}63 \text{ qm} = 0{,}50 \text{ m} \times 1{,}26 \text{ m},$$

„ 3. „ $v_3 = 1{,}2$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_3 = \frac{1360}{3600 \cdot 1{,}2} = 0{,}315 \text{ qm} = 0{,}40 \text{ m} \times 0{,}79 \text{ m},$$

„ 4 und 6 unbekannt,

„ 5. $v_5 = 0$,

„ 7. Angenommen $f_7 = 0{,}94$ qm $= 0{,}40$ m $\times$ 2,35 m,

$$\text{also } v_7 = \frac{1360}{3600 \cdot 0{,}94} = 0{,}4 \text{ m},$$

„ 8. „ $f_8 = 0{,}94$ qm $= 0{,}40$ m $\times$ 2,35 m,

$$\text{also } v_8 = \frac{2720}{3600 \cdot 0{,}94} = 0{,}8 \text{ m},$$

„ 9. Gegeben durch Heizapparat und bauliche Verhältnisse

$$f_9 = 5{,}5 \text{ qm, also } v_9 = \frac{5255}{3600 \cdot 5{,}5} = 0{,}265 \text{ m},$$

„ 10. Angenommen $v_{10} = 0{,}7$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_{10} = \frac{5068}{3600 \cdot 0{,}7} = 2{,}011 \text{ m} = 0{,}8 \text{ m} \times 2{,}51 \text{ m},$$

„ 11. „ $v_{11} = 0$,

„ 12. „ $v_{12} = 0{,}06$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_{12} = \frac{5068}{3600 \cdot 0{,}6} = 2{,}35 \text{ qm} = 1 \text{ m} \times 2{,}35 \text{ m}.$$

f) **Bestimmung der angenäherten Kanalquerschnitte der Theilstrecke 4 und 6 mittelst Tabelle 4.**

Höhe von Mitte Heizkammer bis Einströmung der Luft:
für die Erdgeschossräume rund 5 m, für die Räume des I. Stocks rund 10 m.

Höhe von der Abströmung der Luft über Fussboden bis über Dach:
für die Erdgeschossräume rund 13 m, für die Räume des I. Stocks rund 8 m.

Bei 20° Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen ist nach Tabelle 4 (zum Theil schätzungsweise) zu entnehmen:

für das Erdgeschoss $v_4 = 1{,}7$ m, also

$$f_4 = \frac{680}{3600 \cdot 1{,}7} = 0{,}1111 \text{ qm} = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}41 \text{ m},$$

für das Erdgeschoss $v_6 = 1{,}066$ m, also

$$f_6 = \frac{680}{3600 \cdot 1{,}066} = 0{,}18 \text{ qm} \quad = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}66 \text{ m},$$

für den I. Stock $v_4 = 1{,}3$ m also

$$f_4 = \frac{680}{3600 \cdot 1{,}3} = 0{,}145 \text{ qm} \quad = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}54 \text{ m},$$

für den I. Stock $v_6 = 1{,}51$ m, also

$$f_6 = \frac{680}{3600 \cdot 1{,}51} = 0{,}1251 \text{ qm} = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}46 \text{ m},$$

2. Für die Ausführung.

Die Bestimmungen unter 1, a bis e bleiben dieselben, f fällt aus, dagegen tritt hinzu:

g) **Temperaturbestimmung.** t_0 (höchste äussere Temperatur) = 0°, $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_6 = t_7 = t_8 = 20°$, $t_9 = \frac{0 + 20}{2} = 10°$, $t_{10} = t_{11} = t_{12} = 0°$.

Temperatur unter der Decke der Räume (s. Gleichung 13[a]): $t = 20 + 0{,}1 \cdot 20\ (4{,}2 - 3) = 22{,}4°$.

Mittlere Temperatur der Räume zwischen Fussboden und Decke: $t_5 = \frac{20 + 22{,}4}{2} = 21{,}2°$, also genau genug $t_5 = 21°$.

h) **Zusammenstellung der durch die Anordnung gegebenen und für die Berechnung erforderlichen Längen und Druckhöhen der Kanäle.**

		Raum I:		Raum II:	
		Länge	Höhe	Länge	Höhe
Theilstrecke	1.	$l_1 = 2{,}0$ m,	$h_1 = 2{,}0$ m,	l_1 wie Raum I	h_1 wie Raum I
„	2.	$l_2 = 8{,}0$ m,	$h_2 = 1{,}0$ m,	l_2 wie Raum I	h_2 wie Raum I
„	3.	$l_3 = 8{,}1$ m,	$h_3 = 1{,}0$ m,	l_3 wie Raum I	h_3 wie Raum I
„	4.	$l_4 = 9{,}5$ m,	$h_4 = 9{,}0$ m,	$l_4 = 5$ m,	$h_4 = 4{,}5$ m,
„	5.	l_5 fällt aus,	$h_5 = 3{,}2$ m,	l_5 fällt aus,	$h_5 = 3{,}2$ m,
„	6.	$l_6 = 5{,}5$ m,	$h_6 = 4{,}5$ m,	$l_6 = 10$ m,	$h_6 = 9{,}0$ m,

	Raum I: Länge	Raum I: Höhe	Raum II: Länge	Raum II: Höhe
Theilstrecke 7.	$l_7 = 8{,}0$ m,	$h_7 = 0{,}0$ m,	l_7 wie Raum I	h_7 wie Raum I
„ 8.	$l_8 = 6{,}0$ m,	$h_8 = 0{,}0$ m,	l_8	h_8
„ 9.	$l_9 = 2{,}6$ m,	$h_9 = 2{,}2$ m,	l_9	h_9
„ 10.	$l_{10} = 4{,}0$ m,	$h_{10} = 0{,}0$ m,	l_{10}	h_{10}
„ 11.	l_{11} fällt aus,	$h_{11} = 0{,}0$ m,	l_{11}	h_{11}
„ 12.	$l_{12} = 5{,}0$ m,	$h_{12} = 0{,}0$ m,	l_{12}	h_{12}

i) **Bestimmung der Reibungswiderstände (R) und der einmaligen Widerstände ($\Sigma\xi$) für Raum I. (bezw II).**

Allgemein ist: $W = R + \Sigma\xi = \frac{\rho l u}{f} + \Sigma\xi$ (s. S. 46 sowie Tabelle 6). Wo nichts anders bemerkt, gelten die Werthe sowohl für Raum I als für Raum II.

Theilstrecke 1. $R_1 = \frac{0{,}007 \cdot 2 \cdot 4{,}38}{1{,}08} = 0{,}057$, $\Sigma\xi_1 = 0$,

„ 2. $R_2 = \frac{0{,}007 \cdot 8 \cdot 3{,}52}{0{,}63} = 0{,}313$, $\Sigma\xi_2 = 1{,}5$ (ein rechtwinkeliges Knie),

„ 3. $R_3 = \frac{0{,}007 \cdot 8{,}1 \cdot 2{,}38}{0{,}315} = 0{,}428$, $\Sigma\xi_3 = 1$ (ein rechtwinkeliger Bogen),

„ 4. $R_4 = \frac{\rho_4 9{,}5 \cdot u_4}{f_4}$, $\left(\text{Raum II: } R_4 = \frac{\rho_4 \cdot 5 \cdot u_4}{f_4}\right)$, $\Sigma\xi_4 = 1{,}5$
(ein rechtwinkeliges Knie $= 1{,}5$, eine Klappe $= 0$, ein weitmaschiges Drahtgitter $= 0$),

„ 5. R_5 fällt aus da $v_5 = 0$, $\Sigma\xi_5 = 0$,

„ 6. $R_6 = \frac{\rho_6 5{,}5 \cdot u_6}{f_6}$, $\left(\text{Raum II: } R_6 = \frac{\rho_6 \cdot 10 \cdot u_6}{f_6}\right)$, $\Sigma\xi_6 = 2$
(2 rechtwinkelige Bogen $= 2$, eine Klappe $= 0$, ein weitmaschiges Drahtgitter $= 0$),

„ 7. $R_7 = \frac{0{,}007 \cdot 8 \cdot 5{,}5}{0{,}94} = 0{,}328$, $\Sigma\xi_7 = 1$,

„ 8. $R_8 = \frac{0{,}007 \cdot 6 \cdot 5{,}5}{0{,}94} = 0{,}246$, $\Sigma\xi_8 = 0$,

„ 9. $R_9 = \frac{0{,}0065 \cdot 2{,}6 \cdot 14{,}5}{5{,}5} = 0{,}045$, $\Sigma\xi_9 = 4{,}510$,
$\left(\left(\frac{f_9}{f_{10}} - 1\right)^2 = 3{,}01 + \text{eine rechtwinkelige Richtungsänderung} = 1{,}5\right)$
(u_9 ist Umfang von Heizkammer und Heizkörper),

„ 10. $R_{10} = \frac{0{,}007 \cdot 4 \cdot 6{,}62}{2{,}011} = 0{,}092$, $\Sigma\xi_{10} = 2$,

„ 11. R_{11} fällt aus, da $v_{11} = 0$, $\Sigma\xi_{11}$ fällt aus,

„ 12. $R_{12} = \frac{0{,}007 \cdot 5 \cdot 6{,}7}{2{,}3} = 0{,}1$, $\Sigma\xi_{12} = 2{,}75$
(1 Gitter $= 0{,}75$, 2 rechtwinkelige Bogen $= 2$, eine Klappe $= 0$).

k) **Berechnung der Abluftanlage für Raum I.**

α) Erforderliche Geschwindigkeit im Abluftkanal.

$$\text{Da } t = t_4 = 20°, \text{ ist:}$$
$$v_4 = \frac{L(1+\alpha t_4)}{3600(1+\alpha t) f_4} = \frac{680}{3600 f_4} = \frac{0{,}1889}{f_4}.$$

β) Wirksame Druckhöhe (linke Seite der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit).

$$\frac{1}{1+\alpha t_0}(h_1+h_2+h_3+h_4) - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} - \frac{h_2}{1+\alpha t_2} - \frac{h_3}{1+\alpha t_3} - \frac{h_4}{1+\alpha t_4}$$
$$= \frac{1}{1+\alpha\cdot 0}(2+1+1+9) - \frac{1}{1+\alpha\cdot 20}(2+1+1+9) = 0{,}888 \text{ m}.$$

(Die Werthe von $1+\alpha t$ und $\frac{1}{1+\alpha t}$ sind der Tabelle 1 zu entnehmen.)

γ) Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen (die Summe bildet die rechte Seite der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit).

$$\left.\begin{array}{lll}
\text{Theilstr. 1.} & \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+W_1) = \frac{1{,}4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(1+0{,}057+0) & = \frac{1{,}930}{2g} \\
\text{„ 2.} & \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)} W_2 = \frac{1{,}2^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(0{,}313+1{,}5) & = \frac{2{,}432}{2g} \\
\text{„ 3.} & \frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)} W_3 = \frac{1{,}2^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(0{,}428+1) & = \frac{1{,}916}{2g}
\end{array}\right\} = \frac{6{,}278}{2g}$$
$$\text{„ 4.} \quad \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}(R_4+\Sigma\xi_4) = \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(\frac{9{,}5\rho_4 u_4}{f_4}+1{,}5\right).$$

δ) Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit.

$$0{,}888 = \frac{1}{2g}\left\{6{,}278 + \frac{v_4^2}{1+\alpha\cdot 20}\left(\frac{\rho_4 9{,}5 u_4}{f_4}+1{,}5\right)\right\},$$

woraus die erreichbare Geschwindigkeit sich ergiebt:

$$v_4 = \sqrt{\frac{11{,}961}{\frac{9{,}5\rho_4 u_4}{f_4}+1{,}5}}.$$

ε) Bestimmung des Querschnitts f_4. Die erreichbare Geschwindigkeit v_4 darf keinesfalls kleiner als die erforderliche sein.

Wählt man probeweise $f_4 = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}27 \text{ m} = 0{,}0729$ qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = \frac{0{,}1889}{0{,}0729} = 2{,}591$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = \sqrt{\frac{11{,}961}{9{,}5\cdot 0{,}11218+1{,}5}} = 2{,}16$ m.

(Der Werth $\frac{\rho u}{f}$ ist der Tabelle 6 zu entnehmen.)

Die erreichbare Geschwindigkeit ist zu klein, der Kanalquerschnitt muss grösser sein.

Wählt man probeweise f_4 als nächst grösseres Mauermass 0,27 m $\times$ 0,33 m = 0,0891 qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = \frac{0{,}1889}{0{,}0891} = 2{,}1$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = \sqrt{\frac{11{,}961}{9{,}5 \cdot 0{,}09909 + 1{,}5}} = 2{,}213$ m.

Die erreichbare Geschwindigkeit ist etwas zu gross, d. h. bei 0° Aussentemperatur können $2{,}213 \cdot 3600 \cdot 0{,}0891 = 710$ cbm Luft von 20°, statt, wie verlangt, nur 680 cbm durch den Kanal gefördert werden. Durch Einschaltung einer Klappe, welche entsprechend eingestellt wird und für immer in der Lage verbleibt, kann dem etwas zu grossen Luftwechsel vorgebeugt werden.

1) **Berechnung der Abluftanlage für die übrigen Räume des Erdgeschosses.** Für diese Räume, welche alle günstiger als Raum I liegen, bleibt, da überall der gleiche Luftwechsel herrscht, die erforderliche Geschwindigkeit dieselbe; für die erreichbare kann der erhaltene Ausdruck ebenfalls beibehalten werden, sofern die erwähnten einstellbaren Klappen oder Schieber Anwendung finden, d. h. es können unter dieser Annahme alle Abluftkanäle des Erdgeschosses gleichen Querschnitt erhalten.

Will man genauer verfahren, so hat man die Rechnung für die anderen Räume zu wiederholen.

Für den günstigst gelegenen Raum möge in diesem Falle die Theilstrecke 3 fortfallen, Theilstrecke 2 nur 2 m lang sein und der Abluftkanal dafür statt 9,5 m eine Länge von 12 m besitzen.

Die wirksame Druckhöhe bleibt naturgemäss dieselbe, also 0.888 m, die Reibung in Theilstrecke 2 wird $R_2 = \frac{0{,}007 \cdot 2 \cdot 3{,}52}{0{,}63} = 0{,}078$, so dass somit in der Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen statt der Werthe $\frac{1{,}2^2}{2g(1 + \alpha \cdot 20)}(0{,}313 + 1{,}5) + \frac{1{,}2^2}{2g(1 + \alpha \cdot 20)}(0{,}428 + 1)$, nur $\frac{1{,}2^2}{2g(1 + \alpha \cdot 20)}(0{,}078 + 1)$ zu setzen ist.

Die erreichbare Geschwindigkeit wird alsdann:

$$v_4 = \sqrt{\frac{15{,}076}{\frac{12 \rho_4 u_4}{f_4} + 1{,}5}}.$$

Für $f_4 = 0{,}27$ m $\times$ 0,33 m wird

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = 2{,}1$ m,

" erreichbare " : $v_4 = 2{,}37$ m.

Dieser Querschnitt (derselbe wie für den ungünstigst gelegenen Raum I) ist beizubehalten, da der nächst kleinere Querschnitt 0,27 m × 0,27 m eine erforderliche, aber nicht erreichbare Geschwindigkeit von 2,591 m ergiebt.

Die erreichbare Geschwindigkeit für den günstigst gelegenen Kanal ist nur um rund 7 % grösser, als für den ungünstigst gelegenen, so dass also die erwähnte Unterlassung der gesonderten Gleichungsaufstellung für letzteren Kanal gerechtfertigt erscheint.

m) **Abluftanlage für Raum II und die übrigen Räume des I. Stocks.**

α) Erforderliche Geschwindigkeit im Abluftkanal.

$$v_4 = \frac{680}{3600 f_4} = \frac{0,1889}{f_4}.$$

β) Erreichbare Geschwindigkeit. Die Gleichung bleibt dieselbe wie für Raum I, nur sind die entsprechenden Höhen und Längen der Theilstrecke 4 — also die bereits gegebenen Werthe von h_4 und R_4 einzuführen. Danach ist:

$$v_4 = \sqrt{\frac{5,487}{\frac{5 \rho_4 u_4}{f_4} + 1,5}}.$$

γ) Bestimmung des Querschnitts f_4. Wählt man probeweise $f_4 = 0,27 \text{ m} \times 0,46 \text{ m} = 0,1242$ qm, so ergiebt sich

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = \frac{0,1889}{0,1242} = 1,5$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = \sqrt{\frac{5,487}{5 \cdot 0,084 + 1,5}} = 1,691$ m.

Dieser Querschnitt ist beizubehalten, da der nach Mauermass nächst kleinere Querschnitt 0,27 m × 0,40 m = 0,108 qm eine erforderliche, aber nicht erreichbare Geschwindigkeit von $\frac{0,1889}{0,108} = 1,7$ m ergiebt.

Für die übrigen Räume des I. Stocks gilt dasselbe, was für die entsprechenden Räume des Erdgeschosses gesagt worden ist.

n) **Zuluftanlage für Raum I und die übrigen Räume des Erdgeschosses.** Genau nach Vorgang der Berechnung der Abluftanlage wird die Zuluftanlage berechnet.

α) Erforderliche Geschwindigkeit im Zuluftkanal.

Da $t_6 = 20°$ ist, ergiebt sich:

$$v_6 = \frac{680}{3600 f_6} = \frac{0,1889}{f_6}.$$

β) Wirksame Druckhöhe (linke Seite der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit).

$$\frac{1}{1+\alpha t_0}(-h_5+h_6+h_9)+\frac{h_5}{1+\alpha t_5}-\frac{h_6}{1+\alpha t_6}-\frac{h_9}{1+\alpha t_9}$$
$$=\frac{1}{1+\alpha\cdot 0}(-3{,}2+4{,}5+2{,}2)+\frac{3{,}2}{1+\alpha\cdot 21}-\frac{4{,}5}{1+\alpha\cdot 20}$$
$$-\frac{2{,}2}{1+\alpha\cdot 10}=0{,}156\text{ m.}$$

γ) Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen.

Theilstr. 6. $\frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}(1+R_6+\Sigma\xi_6)=\frac{v_6^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(1+\frac{5{,}5\,\rho_6 u_6}{f_6}+2\right)$

" 7. $\frac{v_7^2}{2g(1+\alpha t_7)}W_7 = \frac{0{,}4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}1{,}328=\frac{0{,}198}{2g}$ m

" 8. $\frac{v_8^2}{2g(1+\alpha t_8)}W_8 = \frac{0{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}0{,}246=\frac{0{,}147}{2g}$ m

" 9. $\frac{v_9^2}{2g(1+\alpha t_9)}W_9 = \frac{0{,}265^2}{2g(1+\alpha\cdot 10)}4{,}555=\frac{0{,}309}{2g}$ m

" 10. $\frac{v_{10}^2}{2g(1+\alpha t_{10})}W_{10} = \frac{0{,}7^2}{2g(1+\alpha\cdot 0)}2{,}092=\frac{1{,}025}{2g}$ m

" 11. 0

" 12. $\frac{v_{12}^2}{2g(1+\alpha t_{12})}(1+W_{12})=\frac{0{,}6^2}{2g(1+\alpha\cdot 0)}2{,}85=\frac{1{,}026}{2g}$ m.

(Summe 7.–12.:) $\frac{2{,}705}{2g}$.

δ) Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit.

$$0{,}156=\frac{1}{2g}\left\{2{,}705+\frac{v_6^2}{1+\alpha\cdot 20}\left(\frac{5{,}5\,\rho_6 u_6}{f_6}+3\right)\right\},$$

also ist:

$$v_6=\sqrt{\frac{0{,}382}{\frac{5{,}5\,\rho_6 u_6}{f_6}+3}}.$$

ε) Bestimmung des Querschnitts f_6. Wählt man probeweise $f_6=0{,}27\text{ m}\times 1{,}05\text{ m}=0{,}2835$ qm, so ergiebt sich

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6=\frac{0{,}1889}{0{,}2835}=0{,}666$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6=\sqrt{\frac{0{,}382}{5{,}5\cdot 0{,}06322+3}}=0{,}338$ m.

Die erreichbare Geschwindigkeit ist zu klein, da aber der Kanal von 0,27 m × 1,05 m für die Ausführung bereits unbequem ist, so ist es rathsam, statt eines grösseren zwei Kanäle mit kleinerem Querschnitte anzuordnen. Liegen diese beiden Kanäle nebeneinander und haben jeder die gleichen Längen und Widerstände, wie der ursprünglich angenommene Kanal, so bleibt die Gleichung für die er-

reichbare Geschwindigkeit dieselbe. Die erforderliche Geschwindigkeit verringert sich für einen Kanal auf die Hälfte, d. h. es ist:

$$v_6 = \frac{0,1889}{2 f_6} = \frac{0,09445}{f_6}.$$

Wählt man probeweise $f_6 = 0,27 \text{ m} \times 0,79 \text{ m} = 0,2133$ qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0,09445}{0,2133} = 0,443$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{0,542}{5,5 \cdot 0,0683 + 3}} = 0,40$ m.

Wählt man probeweise $f_6 = 0,27 \text{ m} \times 0,92 \text{ m} = 0,2484$ qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0,09445}{0,2484} = 0,38$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{0,542}{5,5 \cdot 0,06534 + 3}} = 0,402$ m.

Die nach der ersten Annahme gefundene erreichbare Geschwindigkeit ist etwas zu klein, die nach der zweiten zu gross; man muss also entweder 2 Kanäle, einen jeden zu 0,27 m × 0,92 m annehmen, oder kann als ausreichend einen Kanal 0,27 m × 0,79 m, den anderen 0,27 m × 0,92 m machen.

Für die übrigen Räume wird auf das Gesagte bei den entsprechenden Räumen der Abluftanlage verwiesen.

o) **Zuluftanlage für Raum II und die übrigen Räume des I. Stocks.**

α) Erforderliche Geschwindigkeit.

$$v_6 = \frac{0,1889}{f_6}.$$

β) Erreichbare Geschwindigkeit. Die Gleichung bleibt dieselbe wie für Raum I, nur sind die entsprechenden Höhen und Längen der Theilstrecke 6, also die bereits gegebenen Werthe von h_6 und R_6 einzuführen. Danach erhält man:

$$v_6 = \sqrt{\frac{6,858}{\frac{10\,\rho_6\,u_6}{f_6} + 3}}.$$

γ) Bestimmung des Querschnitts f_6. Wählt man probeweise 0,27 m × 0,53 m = 0,1431 qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0,1889}{0,1431} = 1,32$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{6,858}{10 \cdot 0,0789 + 3}} = 1,345$ m.

Der gewählte Querschnitt ist beizubehalten, weil der nach Mauermass nächst kleinere Querschnitt 0,27 m × 0,46 m eine erforderliche, aber nicht erreichbare Geschwindigkeit von 1,5 m ergiebt.

p) **Vergleich der Ergebnisse für Anschlag und Ausführung.**

		Querschnitte nach Tabelle 4		Querschnitte berechnet
f_4	Erdgeschoss	0,27 m × 0,41 m		0,27 m × 0,33 m
f_4	I. Stock	0,27 m × 0,54 m		0,27 m × 0,46 m
f_6	Erdgeschoss	0,27 m × 0,66 m	2 Kanäle jeder	0,27 m × 0,92 m
f_6	I. Stock	0,27 m × 0,46 m		0,27 m × 0,53 m

Es zeigt sich sonach, dass die Abluftkanäle nach der Tabelle entnommen etwas zu grosse Querschnitte erhalten, die Zuluftkanäle im Erdgeschoss auch nicht angenäherte Uebereinstimmung ergeben — die genaue Berechnung für die Ausführung erscheint daher unbedingt erforderlich.

Die Berechnung zeigt ferner, dass bei der nicht unbedeutenden wagerechten Ausdehnung der Anlage die neutrale Zone in der Mitte der Abluftöffnung nur mit ziemlich schwierigen baulichen Verhältnissen (2 Zuluftkanäle für jeden Raum im Erdgeschoss) zu erzielen ist, somit die wagerechte Ausdehnung von Anlagen mittelst Temperatur-Differenz ohne besondere Erwärmung der Abluft möglichst klein bemessen werden soll. Würde die höchste Aussentemperatur, bei welcher noch der volle Luftwechsel erzielt werden soll, statt zu 0° zu + 10° vorgeschrieben worden sein, so hätte die vorliegende Anlage mit den gemachten Annahmen überhaupt nicht ausgeführt werden können, da zur Ueberwindung der Widerstände im senkrechten Zuluftkanal eine wirksame Druckhöhe nicht übrig geblieben wäre.

Beispiel 2. Die Aufgabe sei die vorige, nur mit dem einzigen Unterschiede, dass die Räume als dicht angesehen werden sollen und die Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage ungetrennt erfolgen soll. (Nach Früherem nicht empfehlenswerth.)

Lösung der Aufgabe.

α) Zu- und Abluftanlage für Raum I und die übrigen Räume im Erdgeschoss. Die erforderliche Geschwindigkeit in den zu berechnenden Querschnitten des Zu- und Abluftkanals ist am besten einander gleich zu setzen, da die Zu- und Abluft gleiche Temperatur besitzen. Es ergiebt sich (wie bei der vorigen Aufgabe):

$$v_4 = v_6 = \frac{0,1889}{f_4}.$$

Die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit wird durch Addition der bei Beispiel 1 für Raum I unter k und n aufgestellten Einzelgleichungen für Abluft und Zuluft erhalten, d. h. es ist:

$$v_4^2\left(\frac{9{,}5\,\rho_4\,u_4}{f_4}+1{,}5\right)+v_6^2\left(\frac{5{,}5\,\rho_6\,u_6}{f_6}+3\right)=11{,}961+0{,}382$$

und da $v_4 = v_6$, also $f_4 = f_6$, $u_4 = u_6$, $\rho_4 = \rho_6$, so folgt:

$$v_4 = v_6 = \sqrt{\frac{12{,}343}{\frac{15\,\rho_4\,u_4}{f_4}+4{,}5}}.$$

Wählt man probeweise $f_4 = 0{,}27\text{ m} \times 0{,}53\text{ m} = 0{,}1431\text{ qm}$, so ergiebt sich

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = \frac{0{,}1889}{0{,}1431} = 1{,}32\text{ m}$,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = \sqrt{\frac{12{,}343}{15 \cdot 0{,}07885 + 4{,}5}} = 1{,}474\text{ m}$.

Dieser Querschnitt ist beizubehalten, da der nächst kleinere 0,27 m × 0,46 m eine erforderliche Geschwindigkeit von $v_4 = 1{,}52$ m ergiebt, welche nicht zu erreichen ist.

β) Zu- und Abluftanlage für Raum II und die übrigen Räume im I. Stock. Da für Raum II die Summe der Kanallängen und die Einzelwiderstände dieselben sind, so ergiebt sich durch Addition der betreffenden Gleichungen für die erreichbare Geschwindigkeit dieselbe Gleichung wie für Raum I, so dass also auch alle Räume des I. Stocks Zu- und Abluftkanäle von dem Querschnitt 0,27 m × 0,53 m erhalten.

Nach der Tabelle 4 würde sich für den ersten Entwurf und Kostenanschlag ein Querschnitt von 0,27 m × 0,40 m ergeben, da die Höhe von Mitte Heizkammer bis über Dach rund 15 m und die Temperatur-Differenz 20° beträgt. Nach der Berechnung zeigt sich dieser Querschnitt als wesentlich zu klein, und erweist sich somit für die Ausführung, wie bei der vorigen Aufgabe, die Nothwendigkeit genauer Berechnung.

B. Lüftung unter Anwendung von Temperaturdifferenz mit besonderer Erwärmung der Abluft.

Beispiel 3. Die Aufgabe ist dieselbe wie bei Beispiel 2, nur soll die höchste Aussentemperatur, bis zu welcher der volle Luftwechsel zu erzielen ist, nicht 0° sondern + 10° betragen.

Zur Erwärmung der Abluft dient ein eisernes Rauchrohr von 17 m Höhe und 0,30 m lichtem Durchmesser, durch welches stündlich von einer besonderen Heizanlage bei der niedrigsten Aussentemperatur die Verbrennungsgase von 12 kg Steinkohlen hindurch geführt werden sollen. Die Temperatur der Rauchgase ist bei der niedrigsten Aussen-

temperatur, bei welcher noch der Heizeffekt erzielt werden soll, zu 300° anzunehmen; der Abluftschacht ist vor Wärmeabgabe geschützt.

Lösung der Aufgabe.

a) **Der Luftwechsel in den einzelnen Räumen**: wie Beispiel 1 unter a.

b) **Die Luftmenge, welche bei der niedrigsten Aussentemperatur von — 10° am Heizapparat zu erwärmen ist**: wie Beispiel 1 unter b.

c) **Disposition der Anlage.** Dieselbe geht aus Figur 11 hervor. Die Abluftkanäle mögen zunächst fallend angelegt, alsdann im Keller mit einem Sammelkanal und durch diesen mit einem über Dach mündenden gemeinsamen Abluftschacht verbunden werden. Für jeden der ungünstigst gelegenen Räume I und II, von welchen Letzterer der ungünstigste ist, ergeben sich 12 Theilstrecken.

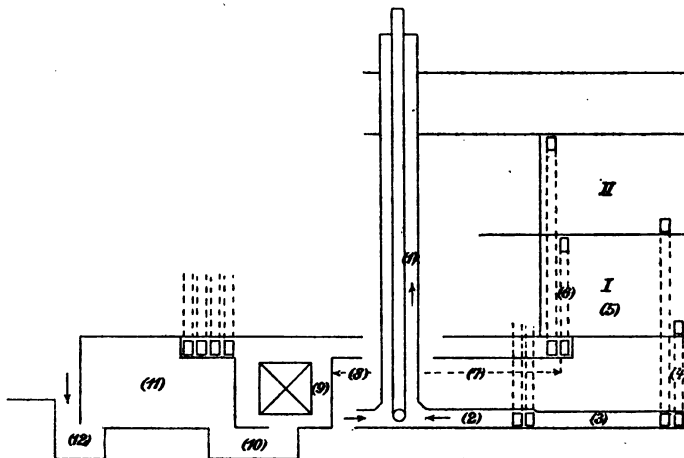


Fig. 11

d) **Temperaturbestimmung.**

t_0 (Aussentemp.) + 10°, t_1 gesuchte Temperatur der Luft im Abluftschacht.

Bei einer Wandstärke des Rauchrohres von 1 cm ergiebt sich der äussere Durchmesser zu $D = 0{,}32$ m und die gesammte Wärme abgebende glatte Oberfläche zu $1 \times 17 = 17$ qm.

Da bei einer Aussentemperatur von + 10° der Heizbetrieb eingestellt sein wird, muss ein Lockfeuer vorgesehen werden. Die Temperatur der Rauchgase dieses Lockfeuers kann bei Verlassen des Rostes zu 1200° angenommen werden. Nach dem auf Seite 27 Gesagten ist zur Verbrennung soviel Luft aus dem Heizraum zuzuführen, dass die Temperatur der Rauchgase 300° beträgt. Die Temperatur der Rauchgase bei Austritt aus dem Rauchrohr möge zu 180° angenommen werden.

Alsdann ist nach Gleichung 15^b zu setzen:

$$W = 8 \cdot 17 \left(\frac{300 + 180}{2} - \frac{20 + \Delta_2}{2} \right) = 31280 - 68 \Delta_2$$

und nach Gleichung 15^c:

$$W = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha \cdot 20} (\Delta_2 - 20) = 1550{,}95 \Delta_2 - 31019{,}0;$$

aus diesen beiden Ausdrücken folgt:

$$\Delta_2 = 38{,}48^\circ.$$

Es beträgt somit die mittlere Temperatur im Schacht:

$$t_1 = \frac{20 + 38{,}48}{2} \backsim 29^\circ,$$

ferner die mittlere Temperatur im Schornstein: $\frac{300 + 180}{2} = 240^\circ$ und $W = 28662$, somit die mittlere Wärmeabgabe eines qm Rauchrohr: $\frac{28662}{17} = 1686\ WE.$

Der stündliche Brennmaterialverbrauch der Lockfeuerung bestimmt sich nach Gleichung 16, wenn die Temperatur im Heizraum zu 10° angenommen wird, zu:

$$p' = \frac{12 (0{,}245 \cdot 300 - 0{,}237 \cdot 10)}{0{,}245 \cdot 1200 - 0{,}237 \cdot 10} = 2{,}93 \text{ kg}$$

und der Luftüberschuss nach Gleichung 17 zu:

$$Q = 22{,}3 (12 - 2{,}93) = 202{,}328 \text{ kg} = 162{,}187 \text{ cbm von } 10^\circ.$$

(Würde die Temperatur der Abluft und zwar $t_1 = 35^\circ$ angenommen worden sein, so dass also für Δ_2 in Gleichung 15^b 50° zu setzen wäre, so müsste f gesucht werden. Es würde, da aus Gleichung 15^c $W = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha \cdot 20} (50 - 20) = 46\,528{,}4$ hervorgeht, $f = \frac{46\,528{,}4}{8 \cdot 205} = 28{,}4$ qm werden.)

Die übrigen Temperaturen sind:

$$t_2 = t_3 = t_4 = t_6 = t_7 = t_8 = 20^\circ,\ t_5 \text{ (wie früher)} = 21^\circ,\ t_9 = \frac{10 + 20}{2} = 15^\circ,$$

$$t_{10} = t_{11} = t_{12} = 10^\circ.$$

e) **Luftmenge, welche durch die verschiedenen Theilstrecken bei der höchsten Aussentemperatur zu fördern sind.**

Theilstrecke	1.	Luftmenge	$\frac{680 \cdot 8 (1 + \alpha \cdot 29)}{1 + \alpha \cdot 20}$	= 5607	cbm von 29°,
„	2.	„	$680 \cdot 4$	= 2720	„ „ 20°,
„	3.	„	$680 \cdot 2$	= 1360	„ „ 20°,
„	4, 5 u. 6.	„	680	= 680	„ „ 20°,
„	7.	„	$680 \cdot 2$	= 1360	„ „ 20°,
„	8.	„	$680 \cdot 4$	= 2720	„ „ 20°,

Theilstrecke 9. Luftmenge $\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 15)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5347$ cbm von 15°,

„ 10, 11 u. 12. „ $\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 10)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5254$ „ „ 10°.

f) **Geschwindigkeit der Luft bezw. Kanalquerschnitte, soweit dieselben angenommen werden können.**

Theilstrecke 1. Angenommener Querschnitt $f_1 = 1{,}2$ m $\times$ 1,2 m $= 1{,}44$ qm, also Geschwindigkeit $v_1 = 1{,}15$ m (der Querschnitt des glatten Rauchrohrs beträgt 0,0804 qm, so dass der freie Querschnitt für die Luftbewegung 1,44 — 0,0804 = 1,3596 und somit die Geschwindigkeit der Luft 1,15 m ausmacht).

„ 2. Angenommener Querschnitt $f_2 = 0{,}92$ m $\times$ 0,92 m $= 0{,}8464$ qm, also Geschwindigkeit $v_2 = 0{,}893$ m.

„ 3. Angenommener Querschnitt $f_3 = 0{,}46$ m $\times$ 0,92 m $= 0{,}4232$ qm, also Geschwindigkeit $v_3 = 0{,}893$ m.

„ 4 und 6 unbekannt.

„ 5. $v_5 = 0$.

„ 7. Angenommener Querschnitt $f_7 = 0{,}40$ m $\times$ 2,35 m $= 0{,}94$ qm, also Geschwindigkeit $v_7 = 0{,}41$ m.

„ 8. Angenommener Querschnitt $f_8 = 0{,}40$ m $\times$ 2,35 m $= 0{,}94$ qm, also Geschwindigkeit $v_8 = 0{,}81$ m.

„ 9. Angenommener Querschnitt f_9 wie früher 5,5 qm, also Geschwindigkeit $v_9 = 0{,}27$ m.

„ 10. Angenommene Geschwindigkeit $v_{10} = 0{,}7$ m, also Querschnitt $f_{10} = 0{,}8$ m $\times$ 2,606 m.

„ 11. $v_{11} = 0$.

„ 12. Angenommene Geschwindigkeit $v_{12} = 0{,}6$ m, also Querschnitt $f_{12} = 1$ m $\times$ 2,43 m.

g) **Zusammenstellung der durch die Anordnung gegebenen und für die Berechnung erforderlichen Längen und Druckhöhen der Kanäle.**

	Raum I		Raum II	
Theilstrecke 1.	$l_1 = 17$ m,	$h_1 = 17$ m,	l_1, l_2, l_3 wie Raum I,	h_1, h_2, h_3 wie Raum I.
„ 2.	$l_2 = 7$ m,	$h_2 = 0$ m,		
„ 3.	$l_3 = 8$ m,	$h_3 = 0$ m,		
„ 4.	$l_4 = 4{,}5$ m,	$h_4 = 3{,}5$ m,	$l_4 = 9$,	$h_4 = 8$.
„ 5.	fällt aus,	$h_5 = 3{,}2$ m,	fällt aus,	$h_5 = 3{,}2$.
„ 6.	$l_6 = 5{,}5$ m,	$h_6 = 4{,}5$ m,	$l_6 = 10$,	$h_6 = 9$.
„ 7.	$l_7 = 8$ m,	$h_7 = 0$ m,	l_7, l_8, l_9 wie Raum I,	h_7, h_8, h_9 wie Raum I.
„ 8.	$l_8 = 6$ m,	$h_8 = 0$ m,		
„ 9.	$l_9 = 2{,}6$ m,	$h_9 = 2{,}2$ m,		
„ 10.	$l_{10} = 4$ m,	$h_{10} = 0$ m,	l_{10}, l_{11}, l_{12} wie Raum I,	h_{10}, h_{11}, h_{12} wie Raum I.
„ 11.	fällt aus,	$h_{11} = 0$ m,		
„ 12.	$l_{12} = 5$ m,	$h_{12} = 0$ m,		

h) **Reibungswiderstände (R) und Summe der einmaligen Widerstände ($\Sigma\xi$) für Raum I (bezw. II).**

$R = \frac{\rho l u}{f}$, ξ nach Massgabe der aus der Disposition sich ergebenden Richtungsänderungen, Klappen, Gitter u. s. w. wie beim vorigen Beispiel.

Theilstrecke	1.	$R_1 = 0{,}508$ (der Umfang des Schachtes beträgt $1{,}2 \times 4 = 4{,}8$ m, der des Rauchrohres $= 1$ m, so dass $u_1 = 5{,}8$ m in Rechnung zu stellen ist).	$\Sigma\xi_1 = 0$,
„	2.	$R_2 = 0{,}213$,	$\Sigma\xi_2 = 1{,}5$,
„	3.	$R_3 = 0{,}365$,	$\Sigma\xi_3 = 1$,
„	4.	$R_4 = \frac{\rho_4\, 4{,}5 \cdot u_4}{f_4}$ $\left(\text{Raum II: } \frac{\rho_4\, 9\, u_4}{f_4}\right)$,	$\Sigma\xi_4 = 1{,}5$,
„	5.	fällt aus,	fällt aus,
„	6.	$R_6 = \frac{\rho_6\, 5{,}5\, u_6}{f_6}$ $\left(\text{Raum II: } \frac{\rho_6\, 10\, u_6}{f_6}\right)$,	$\Sigma\xi_6 = 2$,
„	7.	$R_7 = 0{,}328$,	$\Sigma\xi_7 = 1$,
„	8.	$R_8 = 0{,}246$,	$\Sigma\xi_8 = 0$,
„	9.	$R_9 = 0{,}045$,	$\Sigma\xi_9 = 4{,}183$,
„	10.	$R_{10} = 0{,}091$,	$\Sigma\xi_{10} = 2$
„	11.	fällt aus,	fällt aus,
„	12.	$R_{12} = 0{,}099$,	$\Sigma\xi_{12} = 2{,}75$

i) **Erforderliche Geschwindigkeit in dem Zu- und Abluftkanal für Raum I.** Es möge $v_4 = v_6$ gesetzt werden; da $t_4 = t_6$ ist, muss auch $f_4 = f_6$ sein.

Wie im vorigen Beispiel unter A ist:

$$v_4 = \frac{0{,}1889}{f_4}.$$

k) **Wirksame Druckhöhe für Raum I.**

$$\frac{1}{1+\alpha t_0}(h_1 - h_4 - h_5 + h_6 + h_9) - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} + \frac{h_4}{1+\alpha t_4} + \frac{h_5}{1+\alpha t_5} - \frac{h_6}{1+\alpha t_6} - \frac{h_9}{1+\alpha t_9} = \frac{1}{1+\alpha\cdot 10}(17 - 3{,}5 - 3{,}2 + 4{,}5 + 2{,}2) - \frac{17}{1+\alpha\cdot 29} + \frac{3{,}5}{1+\alpha\cdot 20} + \frac{3{,}2}{1+\alpha\cdot 21} - \frac{4{,}5}{1+\alpha\cdot 20} - \frac{2{,}2}{1+\alpha\cdot 15} = 0{,}988 \text{ m}.$$

l) **Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen für Raum I.**

Theilstrecke 1. $\frac{1{,}15^2}{2g(1+\alpha\cdot 29)}(1 + 0{,}508) = \frac{1{,}803}{2g}$,

„ 2. $\frac{0{,}893^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(0{,}213 + 1{,}5) = \frac{1{,}273}{2g}$,

„ 3. $\frac{0{,}893^2}{2g(1+\alpha . 20)}(0{,}365 + 1) = \frac{1{,}014}{2g}$,

Theilstrecke 4. $\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(\frac{\rho_4\, 4{,}5\, u_4}{f_4}+1{,}5\right)$

„ 5. fällt aus,

„ 6. $\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(1+\frac{\rho_4\, 5{,}5\, u_4}{f_4}+2\right)$

$\Bigg\}\ \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\times\left(4{,}5+\frac{10\rho_4 u_4}{f_4}\right)$,

„ 7. $\frac{0{,}4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(0{,}328+1)=\frac{0{,}198}{2g}$,

„ 8. $\frac{0{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(0{,}246+0)=\frac{0{,}147}{2g}$,

„ 9. $\frac{0{,}27^2}{2g(1+\alpha\cdot 15)}(0{,}045+4{,}183)=\frac{0{,}292}{2g}$,

„ 10. $\frac{0{,}7^2}{2g(1+\alpha\cdot 10)}(0{,}091+2)=\frac{0{,}988}{2g}$,

„ 11. fällt aus,

„ 12. $\frac{0{,}6^2}{2g(1+\alpha\cdot 10)}(1+0{,}099+2{,}75)=\frac{1{,}337}{2g}$.

m) **Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen.**

$$\frac{7{,}052}{2g}+\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(4{,}5+\frac{10\,\rho_4\,u_4}{f_4}\right).$$

n) **Gleichung zur Bestimmung der erreichbaren Geschwindigkeit v_4.**

$$0{,}988=\frac{7{,}052}{2g}+\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(4{,}5+\frac{10\,\rho_4\,u_4}{f_4}\right),$$

daraus folgt:

$$v_4=\sqrt{\frac{13{,}237}{4{,}5+\frac{10\,\rho_4\,u_4}{f_4}}}.$$

o) **Bestimmung des Querschnitts $f_4=f_6$ für Raum I.**

Probeweise Annahme:

$f_4=0{,}27\text{ m}\times 0{,}46\text{ m}=0{,}1242\text{ qm}.$

Erforderliches $v_4=\frac{0{,}1889}{0{,}1242}=1{,}52$,

erreichbares $v_4=\sqrt{\frac{13{,}237}{4{,}5+10\cdot 0{,}08402}}=1{,}57\text{ m}$

(Bezüglich der Werthe $\frac{\rho u}{f}$ siehe Tabelle 6.)

Die erreichbare Geschwindigkeit ist etwas zu gross; der Querschnitt $f_4=f_6$ darf indessen nicht kleiner gewählt werden, weil bei dem nächst kleineren Querschnitt $0{,}27\times 0{,}40\text{ m}=0{,}108\text{ qm}$ das erforderliche $v_4=\frac{0{,}1889}{0{,}108}=1{,}75\text{ m}$, also nicht erreichbar wird.

p) **Bestimmung des Querschnitts $f_4 = f_6$ für Raum II.** Genau wie für Raum I gestaltet sich die Berechnung für Raum II. Die wirksame Druckhöhe bleibt dieselbe wie bei Raum I $= 0{,}988$ m, da der Zunahme der Druckhöhe des Zuluftkanals die gleiche negativ in Rechnung zu setzende Zunahme der Druckhöhe des Abluftkanals gegenüber steht.

Die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen ändert sich nur durch den Werth der Theilstrecken 4 und 6, welcher für Raum II ist:

$$\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(4{,}5+\frac{19\rho_4 u_4}{f_4}\right).$$

Die erforderliche Geschwindigkeit bleibt in Folge derselben Luftmenge für Raum II wie für Raum I dieselbe, nämlich: $v_4 = \frac{0{,}1889}{f_4}$; ferner ist ebenfalls $v_4 = v_6$, $f_4 = f_6$ zu setzen, da die Temperatur der Zu- und Abluft einander gleich ist. Die erreichbare Geschwindigkeit ergiebt sich zu:

$$v_4 = \sqrt{\frac{13{,}237}{4{,}5+\frac{19\rho_4 u_4}{f_4}}}.$$

Der Querschnitt $f_4 = f_6$ muss 0,27 m $\times$ 0,53 m werden.

Bezüglich der übrigen Räume ist auf das Beispiel 1 und auf das früher Gesagte zu verweisen.

Beispiel 4. Die Aufgabe ist dieselbe wie die Vorige, nur soll zur Erwärmung der Abluft nicht ein Rauchrohr, sondern ein besonderer Heizkörper angewendet werden. Die sämmtlichen Kanalquerschnitte für den ungünstigst gelegenen Raum II sind vorgeschrieben. Die Temperatur im Abluftschacht ist zu berechnen, ebenso nach Bestimmung derselben die Kanalquerschnitte des Zu- und Abluftkanals für den im Erdgeschoss ungünstigst gelegenen Raum I.

Lösung der Aufgabe.

a) **Luftwechsel in den Räumen:** wie bei Beispiel 1 unter a.

b) **Luftmenge, welche bei der niedrigsten Aussentemperatur von — 10° auf + 20° erwärmt werden muss:** wie bei Beispiel 1 unter b.

c) **Disposition der Anlage.** Wie bei Beispiel 3, nur dass das Rauchrohr fortfällt und eine Heizkammer zur Erwärmung der Abluft hinzutritt. 13 Theilstrecken. (Siehe Fig. 12.)

d) **Temperaturbestimmung.**

$t_0 = +10°$, t_1 unbekannt, $t_2 = \frac{t_1 + 20}{2}$, $t_3 = t_4 = t_5 = t_7 = t_8 = t_9 = 20°$, $t_6 = 21°$ (wie früher), $t_{10} = 15°$, $t_{11} = t_{12} = t_{13} = 10°$.

e) **Luftmengen, welche durch die verschiedenen Theilstrecken bei der höchsten Aussentemperatur von + 10° stündlich zu fördern sind.**

Theilstrecke 1. $\frac{680 \cdot 8 (1 + \alpha t_1)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5070 (1 + \alpha t_1)$ cbm von $t_1°$,

" 2. $\frac{680 \cdot 8 (1 + \alpha t_2)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5070 (1 + \alpha t_2)$ cbm " $t_2°$,

" 3, 4, 5 u. s. w. wie Theilstrecke 2, bezw. 3, bezw. 4 u. s. w. des vorigen Beispiels.

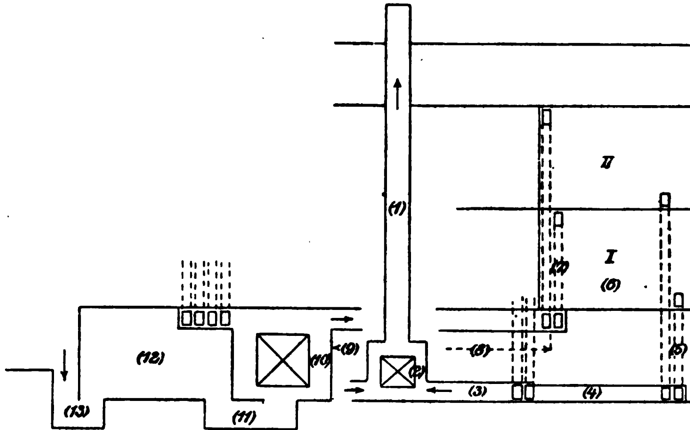


Fig. 12

f) **Vorgeschriebene Querschnitte bezw. Geschwindigkeiten der Luft für Raum II.**

Theilstrecke 1. Querschnitt $f_1 = 0{,}92 \text{ m} \times 0{,}92 \text{ m} = 0{,}8464$ qm, also

$$v_1 = \frac{5070 (1 + \alpha t_1)}{3600 \cdot 0{,}8464} = 1{,}66 (1 + \alpha t_1),$$

" 2. " $f_2 = 4$ qm (bestimmt nach Massgabe des erforderlichen Heizkörpers)

$$v_2 = \frac{5070 (1 + \alpha t_2)}{3600 \cdot 4} = 0{,}35 (1 + \alpha t_2),$$

" 3 und 4 wie Theilstrecke 2 bezw. 3 der vorigen Aufgabe.

" 5 und 7. Querschnitt $f_5 = f_7 = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}53 \text{ m} = 0{,}1431$ qm,

$$\text{also } v_5 = v_7 = \frac{680}{3600 \cdot 0{,}1431} = 1{,}33 \text{ m}$$

" 6, 8, 9 u. s. w. wie Theilstrecke 5 bezw. 7, bezw. 8 u. s. w. der vorigen Aufgabe.

g) **Querschnitte der Kanäle bezw. Geschwindigkeit der Luft in denselben für Raum I.**

Alle gemeinsamen Kanäle müssen wie unter f) bleiben, es ändern sich daher nur:

$$f_5 = f_7 = \frac{680}{3600 \cdot v_7}, \text{ also: } v_7 = \frac{0{,}1889}{f_7}.$$

h) **Zusammenstellung der durch die Anordnung gegebenen und für die Berechnung erforderlichen Längen der Kanäle und Druckhöhen derselben.**

Theilstrecke 1. $l_1 = 14$ m $\quad h_1 = 14 + 1{,}2 = 15{,}2$ m } für Raum II u. I.
„ 2. $l_2 = 2{,}4$ m. $\quad h_2 = 0$ }

(Vergleiche bezüglich h_1 und h_2 die Bemerkung auf S. 68.)

Theilstrecke 3, 4, u. s. w. wie 2 bezw. 3 u. s. w. des vorigen Beispiels.

i) **Reibungs- und einmalige Widerstände.**

Theilstrecke 1. $R_1 = 0{,}406$, $\quad \Sigma\xi_1 = 0$,

„ 2. $R_2 = 0{,}0619$, $\quad \Sigma\xi_2 = \left(\frac{f_1}{f_2} - 1\right)^2 = 0{,}62$.

(Der Umfang u_2 ist als der der Heizkammer und des Heizkörpers gemessen in der Horizontalebene in Rechnung gezogen worden.)

„ 3 u. 4, wie Theilstrecke 2, bezw. 3 des vorigen Beispiels.

„ 5 + 7 für Raum II: $R_{(5+7)} = 1{,}498$, $\quad \Sigma\xi_{(5+7)} = 3{,}5$,

„ 6, 8, 9 u. s. w. wie Theilstrecken 5, bezw. 7, bezw. 8 u. s. w. des vorigen Beispiels.

k) **Bestimmung der Temperatur im Abluftschacht.**

α) Wirksame Druckhöhe.

$$\frac{1}{1+\alpha \cdot 10}\left(15{,}2 - 8 - 3{,}2 + 9 + 2{,}2\right) - \frac{15{,}2}{1+\alpha t_1} + \frac{8}{1+\alpha \cdot 20} + \frac{3{,}2}{1+\alpha \cdot 21} - \frac{9}{1+\alpha \cdot 20} - \frac{2{,}2}{1+\alpha \cdot 15} = 14{,}618 - \frac{15{,}2}{1+\alpha t_1}.$$

β) Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen.

Theilstrecke 1. $\frac{1{,}66^2 (1+\alpha t_1)^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1 + 0{,}406) = \frac{3{,}874\,(1+\alpha t_1)}{2g}$,

„ 2. $\frac{0{,}35^2 (1+\alpha t_2)^2}{2g(1+\alpha t_2)}(0{,}0619 + 0{,}62) = \frac{0{,}084\,(1+\alpha t_2)}{2g}$
$= \frac{0{,}042\,(1+\alpha t_1)}{2g} + \frac{0{,}045}{2g}$,

„ 3 + 4 wie in Beispiel 3, Theilstrecke 2 + 3 $= \frac{2{,}287}{2g}$,

„ 5 + 7. $\frac{1{,}33^2}{2g(1+\alpha \cdot 20)}(4{,}5 + 19 \cdot 0{,}07885) = \frac{9{,}885}{2g}$,

„ 8 + 9 + ⋯ + 13 wie im Beispiel 3, Theilstrecke 7 + 8 + + ⋯ + 12 $= \frac{2{,}962}{2g}$.

γ) Gleichung zur Bestimmung der Temperatur im Abluftschacht.

$$14,618 - \frac{15,2}{1+\alpha t_1} = \frac{1}{2g}\left\{3,916\,(1+\alpha t_1) + 15,179\right\},$$

daraus folgt:

$$3,916\,(1+\alpha t_1)^2 - 271,626\,(1+\alpha t_1) + 298,224 = 0$$

und somit:

$$1+\alpha t_1 = 1,12, \quad \alpha t_1 = 0,12, \quad t_1 = 0,12 \cdot 273 = 32,76 \backsim 33°.$$

1) **Bestimmung des Querschnitts des Zu- und Abluftkanals für Raum I.**

Die wirksame Druckhöhe bleibt aus denselben Gründen wie in Beispiel 3 dieselbe; in den Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen ändert sich nur der Werth für Theilstrecke 5 + 7, welcher statt

$$\frac{9,885}{2g} \text{ wird: } \frac{v_5^2}{2g(1+\alpha \cdot 20)}\left(4,5 + \frac{10\,\rho_5\,u_5}{f_5}\right).$$

Setzt man in die Gleichung zur Bestimmung der Temperatur im Abluftschacht die gefundene Temperatur $t_1 = 33°$ und die geänderten Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen ein, so erhält man:

$$1,058 = \frac{1}{2g}\left\{9,684 + \frac{v_5^2}{1+\alpha \cdot 20}\left(4,5 + \frac{10\,\rho_5\,u_5}{f_5}\right)\right\},$$

daraus folgt:

$$v_5 = \sqrt{\frac{11,886}{4,5 + \frac{10\,\rho_5\,u_5}{f_5}}}.$$

Es folgt bei Annahme eines Querschnitts von $f_5 = f_7 = 0,27$ m $\times$ 0,46 m = 0,1242 qm

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_5 = v_7 = \frac{0,1889}{0,1242} = 1,52$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_5 = v_7 = \sqrt{\frac{11,886}{4,5 + 10 \cdot 0,08402}} = 1,49$ m;

somit ergiebt sich, dass auch für den Raum I der etwas zu grosse Querschnitt 0,27 m $\times$ 0,53 m beibehalten werden muss. Die Bestimmung der Querschnitte der Zu- und Abluftkanäle für die übrigen Räume erfolgt wie früher angegeben.

C. **Lüftung mittelst Ventilatoren.**

Beispiel 5. Dieselbe Aufgabe wie früher, nur soll die höchste Aussentemperatur, bis zu welcher der Luftwechsel zu erzielen ist, + 25° betragen. Die Luft soll vor Einführung in die Räume an dem für den Winter bestimmten Heizkörper auf + 18° gekühlt worden sein; die Temperatur der Abluft ist zu 23° anzunehmen. In der Staubkammer hat ein Filter Aufstellung zu finden. Die Querschnitte der Zuluftkanäle der einzelnen Räume sind nur so gross zu

machen, dass sich die Luft mit einer Geschwindigkeit von 2 bis 2,2 m in denselben bewegt. Der Luftwechsel ist wie früher in einer Temperatur von 20° gegeben. Ein bestimmter Ueberdruck in den Räumen wird nicht vorgeschrieben.

Lösung der Aufgabe. Unter Berücksichtigung des vorigen Beispiels ist ohne weiteres zu ersehen, dass im vorliegenden Falle eine Anlage mit Ventilatorbetrieb gewählt werden muss. Der Ventilator möge in Theilstrecke 10 eingefügt werden, also besteht Drucklüftung, die Zu- und Abluftanlage ist gemeinsam zu berechnen. Der ungünstigst gelegene Raum ist Raum II.

a) **Luftwechsel in den einzelnen Räumen:** wie bei Beispiel 1 unter a.

b) **Luftmenge, welche bei der niedrigsten Aussentemperatur von — 10° auf + 20° am Heizapparat zu erwärmen ist:** wie bei Beispiel 1 unter b.

c) **Disposition der Anlage.** Dieselbe soll diejenige des Beispiels 3 sein, nur fällt der eiserne Schornstein zur Erwärmung der Abluft fort. 12 Theilstrecken.

d) **Temperaturbestimmung.**

$$t_0 = +25°, \; t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 23°, \; t_6 = t_7 = t_8 = 18°.$$

Deckentemperatur im Raume II: $23 + 0{,}03 \cdot 23\,(4{,}2 - 3) = 23{,}83°$,

$$t_5 = \frac{23 + 23{,}83}{2} \backsim 23°.$$

$$t_9 = \frac{t_{10} + t_8}{2} = \frac{25 + 18}{2} = 21{,}5° \text{ dafür } 22°, \; t_{10} = t_{11} = t_{12} = 25°.$$

e) **Luftmengen, welche durch die verschiedenen Theilstrecken bei der höchsten Aussentemperatur von + 25° zu fördern sind.**

Theilstrecke 1.	$\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 23)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5496$	cbm von	23°,
„ 2.	$\frac{680 \cdot 4\,(1 + \alpha \cdot 23)}{1 + \alpha \cdot 20} = 2748$	„ „	23°,
„ 3.	$\frac{680 \cdot 2\,(1 + \alpha \cdot 23)}{1 + \alpha \cdot 20} = 1374$	„ „	23°,
„ 4 u. 5.	$\frac{680 \cdot 1\,(1 + \alpha \cdot 23)}{1 + \alpha \cdot 20} = 687$	„ „	23°,
„ 6.	$\frac{680 \cdot 1\,(1 + \alpha \cdot 18)}{1 + \alpha \cdot 20} = 676$	„ „	18°,
„ 7.	$\frac{680 \cdot 2\,(1 + \alpha \cdot 18)}{1 + \alpha \cdot 20} = 1351$	„ „	18°,
„ 8.	$\frac{680 \cdot 4\,(1 + \alpha \cdot 18)}{1 + \alpha \cdot 20} = 2702$	„ „	18°,
„ 9.	$\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 22)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5477$	„ „	22°,
„ 10, 11 u. 12.	$\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 25)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5533$	„ „	25°.

f) **Geschwindigkeit der Luft in den einzelnen Theilstrecken für Raum II.**

		Angenommener Querschnitt	Geschwindigkeit der Luft
Theilstrecke	1.	$f_1 = 0{,}92\,\text{m} \times 0{,}92\,\text{m} = 0{,}8464$ qm,	$v_1 = 1{,}80$ m,
"	2.	$f_2 = 0{,}46\,\text{m} \times 0{,}92\,\text{m} = 0{,}4232$ qm,	$v_2 = 1{,}80$ m,
"	3.	$f_3 = 0{,}40\,\text{m} \times 0{,}53\,\text{m} = 0{,}2120$ qm,	$v_3 = 1{,}80$ m,
"	4.	$f_4 = 0{,}27\,\text{m} \times 0{,}40\,\text{m} = 0{,}1080$ qm,	$v_4 = 1{,}80$ m,
"	6.	$f_6 = 0{,}27\,\text{m} \times 0{,}33\,\text{m} = 0{,}0891$ qm,	$v_6 = 2{,}10$ m,
"	7.	$f_7 = 0{,}27\,\text{m} \times 0{,}66\,\text{m} = 0{,}1782$ qm,	$v_7 = 2{,}10$ m,
"	8.	$f_8 = 0{,}33\,\text{m} \times 1{,}05\,\text{m} = 0{,}3445$ qm,	$v_8 = 2{,}18$ m,
"	9.	$f_9 = 5{,}5$ qm,	$v_9 = 0{,}277$ m,
"	10.	$f_{10} = 0{,}92\,\text{m} \times 0{,}92\,\text{m} = 0{,}8464$ qm,	$v_{10} = 1{,}82$ m,
"	12.	$f_{12} = 0{,}92\,\text{m} \times 1{,}57\,\text{m} = 1{,}4444$ qm,	$v_{12} = 1{,}06$ m.

g) **Längen der Kanäle und Druckhöhen derselben.** Wie in dem vorigen Beispiele.

h) **Reibungs- und einmalige Widerstände.**

Theilstrecke	1.	$R_1 = 0{,}494$,	$\Sigma\xi_1 = 0$,
"	2.	$R_2 = 0{,}309$,	$\Sigma\xi_2 = 1{,}5$,
"	3.	$R_3 = 0{,}487$,	$\Sigma\xi_3 = 1$,
"	4.	$R_4 = 0{,}804$,	$\Sigma\xi_4 = 1{,}5$,
"	6.	$R_6 = 0{,}991$,	$\Sigma\xi_6 = 2$,
"	7.	$R_7 = 0{,}577$,	$\Sigma\xi_7 = 1$,
"	8.	$R_8 = 0{,}326$,	$\Sigma\xi_8 = 0$,
"	9.	$R_9 = 0{,}044$,	$\Sigma\xi_9 = 5{,}5$,
"	10.	$R_{10} = 0{,}116$,	$\Sigma\xi_{10} = 2$,
"	12.	$R_{12} = 0{,}115$,	$\Sigma\xi_{12} = 2{,}75$.

i) **Wirksame Druckhöhe in Folge Temperatur-Unterschiede zwischen innen und aussen.**

$$\frac{1}{1+\alpha\cdot 25}(17-8-3{,}2+9+2{,}2)-\frac{17}{1+\alpha\cdot 23}+\frac{8}{1+\alpha\cdot 23}+$$
$$+\frac{3{,}2}{1+\alpha\cdot 23}-\frac{9}{1+\alpha\cdot 18}-\frac{2{,}2}{1+\alpha\cdot 22}=-0{,}254\text{ m.}$$

k) **Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen.**

Theilstrecke 1. $\frac{1{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 23)}(1+0{,}494)=\frac{4{,}464}{2g}$,

" 2. $\frac{1{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 23)}(0{,}309+1{,}5)$

" 3. $\frac{1{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 23)}(0{,}487+1)$

(2. und 3.) $\Big\}=\frac{1{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 23)}3{,}296=\frac{9{,}850}{2g}$,

" 4. $\frac{1{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 23)}(0{,}804+1{,}5)=\frac{6{,}885}{2g}$,

$$\text{Theilstrecke } 6.\quad \frac{2{,}1^2}{2g(1+\alpha\cdot 18)}(1+0{,}991+2)=\frac{16{,}511}{2g},$$

$$\text{"}\quad 7.\quad \frac{2{,}1^2}{2g(1+\alpha\cdot 18)}(0{,}577+1)=\frac{6{,}524}{2g},$$

$$\text{"}\quad 8.\quad \frac{2{,}18^2}{2g(1+\alpha\cdot 18)}0{,}326=\frac{1{,}453}{2g},$$

$$\text{"}\quad 9.\quad \frac{0{,}277^2}{2g(1+\alpha\cdot 22)}0{,}044+5{,}5=\frac{0{,}394}{2g},$$

$$\text{"}\quad 10.\quad \frac{1{,}82^2}{2g(1+\alpha\cdot 25)}(0{,}116+2)=\frac{6{,}421}{2g},$$

$$\text{"}\quad 12.\quad \frac{1{,}06^2}{2g(1+\alpha\cdot 25)}(1+0{,}115+2{,}75)=\frac{3{,}978}{2g}.$$

Widerstandshöhe des Filters. Es werde ein Möller'sches Filter von 50 qm Fläche angenommen und in der Gleichung 11 (S. 19) $m=0{,}030$ gesetzt. Alsdann geht an Druckhöhe der äusseren Luft verloren:

$$h'=\frac{0{,}03\cdot 680\cdot 8\,(1+\alpha\cdot 25)}{50\,(1+\alpha\cdot 20)}=3{,}32\text{ m}.$$

Die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen, einschliesslich der Widerstandshöhe des Filters, beträgt:

$$\frac{56{,}48}{2g}+3{,}32=6{,}199\text{ m}.$$

l) **Gleichung für die Druckhöhe M in 0°, welche der Ventilator hervorzurufen hat.**

$$M-0{,}254=6{,}199 \text{ daher:}$$
$$M=6{,}453.$$

m) **Bestimmung des Ventilators.** Es werde ein Schiele'scher Flügel-Ventilator gewählt und zwar probeweise ein solcher von 0,8 m Flügeldurchmesser mit einer Leistung bei freiem Ausblasen von 16 860 cbm; alsdann muss nach Ausdruck 18 sein:

$$\frac{680\cdot 8}{1+\alpha\cdot 20}\leqq\frac{0{,}00001\cdot 16\,860^3}{2540\cdot 0{,}846^2\cdot 6{,}45}.$$

Es müsste also sein:

$5068 \leqq 4087$; da dies nicht der Fall ist, so muss die nächste Nummer und zwar ein Ventilator von 1 m im Durchmesser mit einer Leistung von 27 600 cbm bei freiem Ausblasen gewählt werden, oder aber es muss der Ventilator von 0,8 m Durchmesser schneller als angegeben betrieben werden, was jedoch wegen der Möglichkeit von störendem Geräusch nicht rathsam ist. Der Ventilator von 1 m im Durchmesser

kann langsamer als angegeben betrieben werden, da gemäss Ausdruck 18 $\frac{0{,}00001 \cdot 27\,600^3}{2540 \cdot 0{,}846^2 \cdot 6{,}45}$ wesentlich grösser als 5068 ist.

n) **Bestimmung der Betriebskraft für den Ventilator.**

Nach Gleichung 19 ist, sofern $\eta = 0{,}40$ gesetzt wird:

$$N = \frac{0{,}0000048 \cdot 680 \cdot 8 \cdot 6{,}45}{0{,}40\,(1 + \alpha \cdot 20)} = 0{,}392 \text{ PS.}$$

o) **Bestimmung der Querschnitte der Einzelkanäle (Zu- und Abluft) für Raum I.** Die wirksame Druckhöhe in Folge Temperaturunterschied zwischen innen und aussen ist:

$$\frac{1}{1 + \alpha \cdot 25}(17 - 3{,}5 - 3{,}2 + 4{,}5 + 2{,}2) - \frac{17}{1 + \alpha \cdot 23} + \frac{3{,}5}{1 + \alpha \cdot 23} + \\ + \frac{3{,}2}{1 + \alpha \cdot 23} - \frac{4{,}5}{1 + \alpha \cdot 18} - \frac{2{,}2}{1 + \alpha \cdot 22} = -0{,}18 \text{ m.}$$

Die Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen bleiben dieselben wie für Raum II, nur diejenigen der Einzelkanäle (Theilstrecke 4 und 6) sind unbekannt, d. h. sie sind für:

Theilstrecke 4: $\frac{v_4^2}{2g(1 + \alpha \cdot 23)}\left(1{,}5 + \frac{4{,}5\,\rho_4\,u_4}{f_4}\right)$,

„ 6: $\frac{v_6^2}{2g\,(1 + \alpha \cdot 18)}\left(3 + \frac{5{,}5\,\rho_6\,u_6}{f_6}\right)$.

Die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen ergiebt sich dann zu:

$$\frac{v_4^2}{2g(1 + \alpha \cdot 23)}\left(1{,}5 + \frac{4{,}5\,\rho_4\,u_4}{f_4}\right) + \frac{v_6^2}{2g(1 + \alpha \cdot 18)}\left(3 + \frac{5{,}5\,\rho_6\,u_6}{f_6}\right) + \\ + \frac{33{,}084}{2g} + 3{,}32$$

und man erhält die Gleichung, da der Ventilator eine Druckhöhe von 6,453 m hervorzurufen hat:

$$6{,}453 - 0{,}18 = \frac{v_4^2}{2g(1 + \alpha \cdot 23)}\left(1{,}5 + \frac{4{,}5\,\rho_4\,u_4}{f_4}\right) + \\ + \frac{v_6^2}{2g\,(1 + \alpha \cdot 18)}\left(3 + \frac{5{,}5\,\rho_6\,u_6}{f_6}\right) + \frac{33{,}084}{2g} + 3{,}32.$$

v_4 und v_6 können wie früher behufs Lösung der Gleichung in ein gewisses Verhältniss gebracht werden, oder man kann, da die Kanalquerschnitte nur wenig von denen für Raum II abweichen werden und somit eine unausführbare Annahme ausgeschlossen ist, f_4 oder f_6 wählen. Nimmt man also für f_4 denselben Querschnitt wie für Raum II, d. h. 0,27 m $\times$ 0,40 m, so wird für f_6 nach der Rechnung ein etwas kleinerer Querschnitt sich ergeben müssen, als der für Raum II gewählte von 0,27 m $\times$ 0,33 m.

Nach Einsetzung der nun bekannten Werthe von v_4, f_4, u_4 und ρ_4 geht die Gleichung über in die andere:

$$6{,}45 - 0{,}18 = \frac{5{,}330}{2g} + \frac{v_6^2}{2g(1 + \alpha \cdot 18)}\left(3 + \frac{5{,}5\,\rho_6\,u_6}{f_6}\right) + \frac{33{,}084}{2g} + 3{,}32,$$

woraus folgt:

$$v_6 = \sqrt{\frac{20{,}7}{3 + \frac{5{,}5\,\rho_6\,u_6}{f_6}}}.$$

Die erforderliche Geschwindigkeit v_6 ist, da stündlich 676 cbm von 18° durch den Kanal gefördert werden müssen:

$$v_6 = \frac{676}{3600\,f_6} = \frac{0{,}1878}{f_6}.$$

Wählt man probeweise:

$$f_6 = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}27 \text{ m} = 0{,}0729 \text{ qm},$$

so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0{,}1878}{0{,}0729} = 2{,}58$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{20{,}7}{3 + 5{,}5 \cdot 0{,}1122}} = 2{,}4$ m.

Die erreichbare Geschwindigkeit ist zu klein, es muss mithin derselbe Querschnitt wie für Raum II (0,27 m × 0,33 m) auch für Raum I beibehalten werden.

Beispiel 6. Die Aufgabe ist die vorige nur mit dem einzigen Unterschiede, dass in allen Räumen, also auch im ungünstigst gelegenen Raume II in Höhe der Abluftöffnung noch ein Ueberdruck von 1,5 m, gemessen in einer Luftsäule von 0° angenommen werden soll.

Lösung der Aufgabe. Alle Werthe in a bis h des vorigen Beispiels bleiben bestehen, ebenso in k die einzelnen Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen der gemeinsamen Kanäle, sowie des Zuluftkanals für Raum II. Abluft- und Zuluftanlage ist getrennt von einander zu berechnen, die Erstere bis Mitte, die Letztere von Mitte der Abluftöffnung.

1. Abluftanlage für Raum II.

a) Wirksame Druckhöhe der Abluftanlage in Folge Wärmeunterschiede.

$$\frac{1}{1 + \alpha \cdot 25}(17 - 8) - \frac{17}{1 + \alpha \cdot 23} + \frac{8}{1 + \alpha \cdot 23} = -0{,}068 \text{ m}.$$

b) **Erforderliche wirksame Druckhöhe in Folge der Bedingung von 1,5 m Ueberdruck in Mitte Abluftöffnung.**

$$1{,}5 - 0{,}068 = 1{,}432 \text{ m}.$$

c) **Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen.**

Theilstrecke 1. Wie in dem vorigen Beispiel gewählt $\frac{4{,}464}{2g}$,

" 2 und 3. " " " " " " $\frac{9{,}850}{2g}$,

" 4. $\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 23)}\left(1{,}5 + \frac{9\,\rho_4\,u_4}{f_4}\right)$.

d) **Bestimmung von f_4.** Die Gleichung lautet gemäss b und c:

$$1{,}432 = \frac{1}{2g}\left\{14{,}314 + \frac{v_4^2}{1+\alpha\cdot 23}\left(1{,}5 + \frac{9\,\rho_4\,u_4}{f_4}\right)\right\},$$

somit ergiebt sich die erreichbare Geschwindigkeit:

$$v_4 = \sqrt{\frac{14{,}944}{1{,}5 + \frac{9\,\rho_4\,u_4}{f_4}}}.$$

Die erforderliche Geschwindigkeit ist dieselbe wie im vorigen Beispiel:

$$v_4 = \frac{687}{3600\,f_4} = \frac{0{,}1908}{f_4}.$$

Wählt man probeweise: $f_4 = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}27 \text{ m} = 0{,}0729$ qm, so ist die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = \frac{0{,}1908}{0{,}0729} = 2{,}6$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = \sqrt{\frac{14{,}944}{1{,}5 + 9\cdot 0{,}11218}} = 2{,}44$ m.

Die erreichbare Geschwindigkeit ist zu klein, es muss daher der nächst grössere Querschnitt 0,27 m × 0,33 m = 0,0891 qm gewählt werden.

2. Zuluftanlage für Raum II.

a) **Wirksame Druckhöhe der Zuluftanlage in Folge Wärmeunterschiede.**

$$\frac{1}{1+\alpha\cdot 25}\left(-3{,}2 + 9 + 2{,}2\right) + \frac{3{,}2}{1+\alpha\cdot 23} - \frac{9}{1+\alpha\cdot 18} - \frac{2{,}2}{1+\alpha\cdot 22} = -0{,}199 \text{ m}.$$

b) **Erforderliche wirksame Druckhöhe in Folge der Bedingung von 1,5 m Ueberdruck in Mitte Abluftöffnung.**

$$M - 1{,}5 - 0{,}199 = M - 1{,}699.$$

c) **Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen.** Da M (die Druckhöhe des Ventilators) berechnet wird, so können sämmtliche Querschnitte ge-

wählt werden. Bleiben diese dieselben wie in der vorigen Aufgabe, so ergiebt sich, einschliesslich des Filters, als Summe:

$$\frac{35,281}{2g} + 3,32 = 5,118 \text{ m}.$$

d) **Gleichung für die Druckhöhe M (in 0°), welche der Ventilator hervorzurufen hat.**

$$M - 1,699 = 5,118,$$

also ist:

$$M = 6,817 \text{ m}.$$

e) **Bestimmung des Ventilators.** Es kann derselbe Ventilator wie in der vorigen Aufgabe gewählt werden, da:

$$\frac{680 \cdot 8}{1 + \alpha \cdot 20} < \frac{0,00001 \cdot 27\,600^3}{2540 \cdot 0,846^2 \cdot 6,817}$$

ist.

f) **Bestimmung der Betriebskraft für den Ventilator.**

$$N = \frac{0,0000048 \cdot 680 \cdot 8 \cdot 6,817}{0,40\ (1 + \alpha \cdot 20)} = 0,415 \text{ PS}.$$

g) **Bestimmung der Querschnitte der Einzelkanäle (Zu- und Abluft) für Raum I.**

Die Abluftanlage ist genau wie für Raum II zu berechnen, die Zuluftanlage nach Massgabe der Bestimmung der Zu- und Abluftanlage des vorigen Beispiels.

Heizung.

(Bezüglich der Litteratur s. Abschnitt „Lüftung“.)

Siebentes Kapitel.

Entwickelung und Nutzbarmachung der Wärme.

I. Brennstoffe.

Für die Entwickelung der Wärme zu Heizungszwecken kommen zur Zeit nur die Brennstoffe, feste oder gasförmige, in betracht. Bei der Verbrennung ist ein kalorimetrischer und ein pyrometrischer Heizeffekt zu unterscheiden, der Erstere bezieht sich auf die Wärmemenge, welche durch vollkommene Verbrennung frei wird, der Letztere auf die bei der vollkommenen Verbrennung erzeugte Temperatur.

Bezüglich der Eigenschaften der Brennstoffe und der Vorgänge bei der Verbrennung wird auf Grashof, Theoretische Maschinenlehre, Bd. I, Leipzig 1875 verwiesen und sollen hier nur die für die Praxis in den meisten Fällen ausreichenden Angaben in nachstehender Tabelle folgen.

Brennstoffe	L	Einfache theoretische Luftmenge			Doppelte theoretische Luftmenge			Theoretisch erzeugte Wärmemengen
		G	δ	c	G	δ	c	
	kg							
Holz (lufttrocken)	4,52	5,50	1,003	0,266	10,02	1,002	0,254	2 731
Torf „	4,41	5,31	0,993	0,268	9,72	0,996	0,256	2 743
Braunkohle . . .	6,32	7,24	1,023	0,258	13,56	1,012	0,250	4 176
Steinkohle . . .	10,67	11,63	1,043	0,250	22,30	1,022	0,245	7 483
Coaks	10,26	11,20	1,077	0,242	21,46	1,039	0,241	7 065
Steinkohlen-Leuchtgas . .	14,19	15,19	0,957	0,270	—	—	—	10 113
Generatorgas:								
Torf	0,89	1,89	1,042	0,251	—	—	—	819
Coaks	0,84	1,84	1,087	0,240	—	—	—	816

In dieser Tabelle bedeutet:

L die erforderliche theoretische Luftmenge in kg zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff,

G das Gewicht der gasförmigen Verbrennungsprodukte von 1 kg Brennstoff,

δ die Dichtigkeit der Heizgase bezogen auf Luft,

c die specifische Wärme der Heizgase.

In der Praxis ist stets bei festen Brennstoffen die doppelte theoretische Luftmenge in Ansatz zu bringen.

II. Feuerungsanlagen.

Zur nutzbaren Verbrennung der Brennstoffe sind besonders konstruirte Feuerungsanlagen erforderlich.

Dieselben müssen eine möglichst vollkommene Verbrennung und Wärmeentwickelung bewirken, die entwickelte Wärme auf geeignete Heizflächen übertragen und die Verbrennungsgase ableiten.

1. Verbrennung und Wärmeentwickelung. Die Verbrennung und Wärmeentwickelung wie sie die Theorie lehrt, wird in der Praxis nie erzielt. Der Grund hierfür ist in der Beschaffenheit und Lagerung des Brennmaterials, Ueberziehen desselben mit Schlacke und Asche, Oeffnen der Feuerthür beim Beschicken der Anlage, Erwärmung der Verbrennungsluft, Verlust an festen Brennstoffen, Wärmeabgabe durch die Wandung des Verbrennungsraumes, mangelhafte Mischung der Luft mit den Gastheilchen u. s. w. zu suchen. Bei gasförmigen Brennstoffen werden manche Nachtheile vermieden, besonders ist eine bessere Mischung der Gastheilchen mit der Luft möglich. Für die Bestimmung der erforderlichen festen Brennstoffmenge einer Anlage rechne man, dass nur 60% der theoretischen Wärmemenge nutzbar erzeugt wird. (S. letzte Spalte der auf Seite 103 gegebenen Aufstellung.)

Der Raum, in welchem die Verbrennung des Brennmaterials und die Wärmeentwickelung stattfinden, besteht im wesentlichen aus dem Rost mit dem Aschfall und dem Verbrennungsraum für die entwickelten Gase.

a) **Der Rost und der Aschfall.** Der Rost hat den Zweck, das Brennmaterial aufzunehmen, demselben die zur Verbrennung erforderliche Luft gleichmässig zuzuführen und die Verbrennungsrückstände nach dem Aschfall zu entfernen.

Er besteht mithin aus einer entweder horizontal oder geneigt über dem Aschfall liegenden durchbrochenen Platte, oder aus einzelnen in einer Ebene liegenden Theilen. Die Dicke der Roststäbe und die Weite der Rostspalten hängt vom Brennmaterial ab, je feiner das

Brennmaterial ist oder je mehr es beim Verbrennen zerfällt, desto schmäler sind die Roststäbe und Rostspalten zu halten.

Der durchbrochene Theil des Rostes wird mit dem Namen „freie Rostfläche" bezeichnet.

Die totale Rostgrösse ist bei einem Planrost und periodischer Beschickung für 100 kg Brennmaterial in der Stunde im Mittel anzunehmen:

für Steinkohlen	1,4	bis	1,6 qm
„ „ (Anthracit)	2,5	„	3,0 „
„ Braunkohlen	2,0	„	2,4 „
„ Holz und Torf	1,9	„	2,1 „
„ Coaks	0,9	„	1,1 „

Bei Dauerbrand können die Werthe um 25 bis 30 % kleiner angenommen werden:

Die freie Rostfläche soll betragen für:

Steinkohlen . . .	1/3	bis	1/2	der	totalen	Rostfläche
Braunkohlen . . .	1/5	„	1/3	„	„	„
Holz und Torf . .	1/7	„	1/5	„	„	„
Coaks	1/3	„	1/2	„	„	„

b) **Verbrennungsraum.** In dem Verbrennungsraume findet die hauptsächlichste Verbrennung der gebildeten Gase unter vorheriger inniger Mischung mit der erforderlichen Luft statt; je vollkommener die Mischung erfolgt, um so besser ist die Verbrennung. Die Menge der zugeführten Luft ist von Wesenheit für die Verbrennung; bei zu wenig Luft entweichen die Heizgase zum Theil unverbrannt, bei zu viel Luft erfahren sie Abkühlung. Die Luftzufuhr erfolgt entweder durch den Rost allein, oder auch über bezw. hinter dem Roste; Letzteres besonders dann, wenn der Beschickung des Rostes entsprechend die Luftzufuhr durch den Rost eine wechselnde sein muss. Die Temperatur im Verbrennungsraume ist möglichst hoch zu halten, daher ist derselbe aus einem schlechten Wärmeleiter herzustellen; auch ist Vorsorge zu treffen, dass eine möglichste Rückstrahlung von Wärme auf den Brennstoff stattfindet. In der Regel soll daher die vollkommene Flammenbildung vor der Berührung mit den kälteren Heizflächen erfolgen.

Die Verbrennung der Gase kann von der Bildung derselben zeitlich und räumlich getrennt sein (Gasfeuerung). Auf die nähere Konstruktion der Feuerungsanlagen kann hier nicht eingegangen werden; die Zahl derselben ist eine sehr grosse.

c) **Rauchbildung.***) Eine zweckentsprechende Anlage vermeidet Rauchbildung, da die bei vollkommener Verbrennung entweichenden Verbrennungsgase unsichtbar sind. Damit soll nicht gesagt werden,

*) S. a. D. Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspfl., Bd. XVIII, H. 1.

dass, wenn aus dem Schornstein nur unsichtbare Verbrennungsgase entweichen, der grösstmögliche pyrometrische Effekt erzielt worden ist; Ueberschuss von Luft kühlt, wie erwähnt, die Heizgase ab. Für gewöhnlich ist daher das Entweichen eines leichten durchsichtigen Rauches als Beweis für die gute Wirkung der Feuernngsanlage der Abwesenheit von Rauch vorzuziehen.

Da nach Ansicht hervorragender Hygieniker die dauernde Einathmung von Russ schädliche Wirkung auf die Gesundheit ausübt, so ist, abgesehen vom ökonomischen Standpunkte, dafür Sorge zu tragen, dass die Feuerungsanlagen übermässige Rauchbildung vermeiden. Es ist dies durch richtige Wahl des Brennmaterials, geeignete Konstruktionen der Anlage und sachverständige Bedienung zu erzielen.

Neuanlagen sollten stets nur mit der Bedingung annähernd rauchfreier Verbrennung genehmigt werden. Das Einschreiten gegen die starke Rauchbildung bei bestehenden Anlagen ist besonders in grossen Städten schwierig, da rauchfrei brennende Feuerungen bei vorhandenen sehr beschränkten Raumverhältnissen oftmals nicht unterzubringen oder mit grossen Kosten verbunden sind.

d) **Schornstein.**

α) Berechnung. Für Berechnung des Schornsteins sind die im Abschnitt über Lüftung bezüglich der Luftbewegung in Kanälen angestellten Betrachtungen ebenfalls anwendbar. Nach den früheren bei der Lüftung gegebenen Entwickelungen kann die erreichbare Geschwindigkeit der Rauchgase gesetzt werden:

$$v = \sqrt{\frac{2g\left\{\frac{h\alpha(t_m - t_0)}{1+\alpha t_0} - n(1+\alpha t_m)\right\}}{\frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t_m} + \frac{\rho h u}{f}}}, \qquad (43^a)$$

oder wenn für die äussere Temperatur t_0 die mittlere Wintertemperatur zu 0° eingeführt wird:

$$v = \sqrt{\frac{2g\{h\alpha t_m - n(1+\alpha t_m)\}}{\frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t_m} + \frac{\rho h u}{f}}}. \qquad (43^b)$$

In den Ausdrücken bedeutet:

h die Höhe des Schornsteins,

n die Summe der Widerstandshöhen, ausgedrückt in m einer Luftsäule von 0°, welche vom Anfang der Feuerungsanlage bis zum Eintritt der Verbrennungsgase in den Schornstein hervorgerufen werden,

t_1 und t_2 die Temperatur der Verbrennungsgase am Fusse bezw. an der Mündung des Schornsteins,

$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$ die mittlere Temperatur im Schornstein,

ρ der Reibungskoeffizient (berusste Fläche) = 0,01,

f der Querschnitt des Schornsteins in qm,

u der Umfang des Querschnitts in m.

Die erforderliche Geschwindigkeit im Schornstein, welche gleich der erreichbaren (s. Lüftung) sein muss, ist zu setzen:

$$v = \frac{Gp\,(1 + \alpha t_m)}{1{,}293 \cdot 3600\, f}, \qquad (44)$$

worin:

G das Gewicht der bei Verbrennung von 1 kg Brennstoff entwickelten Gase in kg,

p die stündlich zu verbrennende Menge Brennmaterial in kg bedeutet.

Die Lösung beider Gleichungen erfolgt wie früher angegeben (s. Lüftung) durch Wahl desjenigen f, welches die Gleichheit der erreichbaren und erforderlichen Geschwindigkeit hervorruft.

Bei Schornsteinen, welche keine oder unwesentliche Abkühlung der Verbrennungsgase zulassen, ist $t_m = t_2 = t_1$, welches nach Massgabe der Feuerungsanlage anzunehmen ist. Bei Schornsteinen, welche Abkühlung besitzen, ist:

$$t_m = \frac{2p\,G\,c\,t_1}{2p\,G\,c + khu}, \qquad (45)$$

worin ausser mit den bereits bekannten Grössen mit

c die spezifische Wärme der abziehenden Verbrennungsgase (s. S. 103).

k der Transmissionskoeffizient bezeichnet wird.

(Der Werth von k ist aus der späteren Aufstellung, Seite 128, bei Besprechung der Heizflächen zu entnehmen.)

Für Auflösung ist zunächst probeweise u anzunehmen nach einer unter β angegebenen einfachen Berechnungsweise des Schornsteinquerschnitts, und alsdann ist mit dem ermittelten t_m der Querschnitt des Schornsteins in der vorstehend angegebenen Weise zu bestimmen. Stimmt dieser mit dem ursprünglich angenommenen nicht überein, so ist die Rechnung mit dem nun bestimmten u zu wiederholen.

Der Werth von n ist die Summe aus den verschiedenen Widerstandshöhen in Folge des Durchgangs der Luft durch Aschfall, Brennmaterial, Rost, Feuerzüge und Fuchs.

Soweit Kanäle und der Rost in Frage kommen ist die Widerstandshöhe wie früher (s. Lüftung) zu bilden, d. h. sie ist zu setzen:

$$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}\left(\frac{\rho l u}{f}+\Sigma\xi\right),$$

worin v die Geschwindigkeit der Verbrennungsgase oder Luft in den betreffenden Kanälen, t die mittlere Temperatur der Gase bedeutet, die übrigen Grössen dieselbe Bedeutung wie früher haben.

Für den Durchgang der Luft durch Brennmaterial ist die Widerstandshöhe in m nach Grashof zu setzen:

$$25\,G b^2, \qquad (46)$$

wenn mit b die Dicke der Brennstoffschicht bezeichnet wird; b ist anzunehmen für:

Steinkohlen	0,1,
Holz und Torf	0,2,
Coaks	0,25.

Die Widerstandshöhe, welche in Folge Durchgangs der Luft durch das Brennmaterial hervorgerufen wird, ist im Vergleich zu den anderen Widerstandshöhen bei weitem die grösste.

β) Angenäherte Berechnung. Für die meisten Zwecke, d. h. wenn nicht besonders grosse Anlagen oder eine ungünstige Anordnung (weite Entfernung des Schornsteins in bezug auf den Standort des Feuerheerds) vorliegt, darf eine angenäherte Berechnung Platz greifen.

Nach Redtenbacher kann der Schornsteinquerschnitt gesetzt werden:

$$f=\frac{pG}{924\sqrt{h}}, \qquad (47)$$

nach Reiche:*)

$$\text{für Steinkohlen } f=\frac{q}{4}, \qquad (48^{a})$$

$$\text{für Braunkohlen } f=\frac{q}{6}, \qquad (48^{b})$$

wobei $h \gtreqless 25d$, jedenfalls aber $h > 16$ m zu nehmen ist.

Es bedeutet:

p das in der Stunde benöthigte Brennmaterial in kg,
G das Gewicht der bei Verbrennung von 1 kg Brennstoff abziehenden Gase in kg (s. S. 103),
h die Höhe des Schornsteins in m,
q die totale Rostfläche in qm,
d der Durchmesser oder die Seite des Schornsteinquerschnitts in m.

---

*) H. v. Reiche, Anlage und Betrieb der Dampfkessel, Leipzig 1876.

Achtes Kapitel.

Allgemeine Berechnung der Wärmeüberführung in bezug auf die Erwärmung geschlossener Räume.*)

Wenn sich 2 Körper von verschiedener Temperatur berühren, so findet von dem wärmeren auf den kühleren Körper eine Wärmeübertragung statt; diese wird mit „Wärmeleitung“ bezeichnet. Wenn sich 2 Körper von verschiedener Temperatur nicht berühren, so kann, falls sich zwischen ihnen ein luftleerer Raum oder ein geeignetes Mittel, wie z. B. Luft befindet, ebenfalls eine Wärmeübertragung, ohne Erwärmung dieses Mittels erfolgen; diese wird mit „Wärmestrahlung“ bezeichnet.

Die Umschliessungskörper eines Raumes (Wände, Fenster u. s. w.) besitzen jederzeit eine andere Temperatur als die Innen- und Aussenluft, auch die Wärmevertheilung in den einzelnen Schichten dieser Körper ist eine ungleiche und schwankende. Im allgemeinen kann angenommen werden, dass durch die Umschliessungskörper bei einer Temperatur im Raum, die höher ist als die der äusseren Luft, eine Wärmeaufnahme von der Innenluft und Wärmeübertragung nach aussen, umgekehrt aber eine Wärmeaufnahme von der Aussenluft und Wärmeübertragung nach innen stattfindet. Diese Wärmeübertragung bezeichnet man mit dem Namen „Wärmetransmission“. Es darf vorausgesetzt werden, dass die Wärmetransmission, sofern die beiderseitigen verschiedenen Temperaturen stetige bleiben, mit der Zeit in den Beharrungszustand übergeht, also eine gewisse Grösse annimmt, dass aber die vor dem Beharrungszustande auf einer Seite des Körpers aufgenommene Wärme auf der andern Seite nicht in gleichem Masse abgegeben, sondern entweder ganz oder theilweise zur Eigenerwärmung des betreffenden Körpers verwendet wird. Diese Eigenerwärmung der Umschliessungskörper eines Raumes bezeichnet man mit dem Namen der „Wärmeabsorption“.

Sofern die Wärmetransmission und Wärmeabsorption für einen Raum einen Wärmeverlust bedeuten, muss derselbe bei Einhaltung bezw. Herstellung einer bestimmten Innentemperatur durch anzuordnende Wärmeflächen (Heizkörper) ersetzt werden. Die Wärmeabgabe dieser Heizkörper, welche mit dem Namen „Wärmeemission“ bezeichnet wird, muss also im Beharrungszustande der Wärmetransmission und vor

*) S. Grashof, Theoretische Maschinenlehre, Leipzig 1875.

dem Beharrungszustande auch der Wärmeabsorption der Umschliessungskörper eines Raumes gleich sein. Die Heizkörper erhalten die Wärme von den Wärmerecipienten, d. h. von denjenigen Körpern, welche die aus dem Brennmaterial zu diesem Zwecke frei zu machende Wärme aufnehmen. Die eigenartige Form der Wärmerecipienten und Heizkörper und die Art und Weise der Wärmeführung von den Ersteren auf die Letzteren bedingen die Form und den Namen des betreffenden Heizungssystems.

Die für die Erwärmung geschlossener Räume anzustellende Berechnung erstreckt sich also nach dem Gesagten auf die Berechnung der erforderlichen Wärmemenge durch Transmission und sofern der Beharrungszustand durch stetige Erwärmung der Räume nicht stattfindet, also in der Zwischenzeit eine Abkühlung der Umschliessungskörper eintritt auch auf die erforderliche Wärmemenge durch Absorption; ausserdem auf die Grössenverhältnisse der Heizflächen und aller sonstigen Theile der Heizungsanlage.

1. Wärmeüberführung im Beharrungszustande. Fliessen an einer Wand von gleichartiger Beschaffenheit mit ebenen und parallelen Begrenzungsflächen zwei Flüssigkeiten, von denen diejenige auf der Seite *AB* die wärmere, also Wärme abgebende, die auf der Seite *CD* die kühlere, also Wärme aufnehmende ist und kühlt sich die erstere von t' auf t'' ab, während sich die andere von t_1 auf t_2 erwärmt, was die Bedingung für Fig. 13 $t' > t_1$ und $t'' > t_2$, für Fig. 14 $t' > t_2$ und $t'' > t_1$ voraussetzt, so ist die Wärmemenge, welche von der einen auf die andere Flüssigkeit übergeht, sofern bezeichnet wird mit

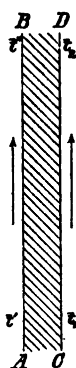


Fig. 13

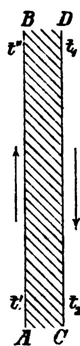


Fig. 14

F die Grösse der von den Flüssigkeiten berührten Flächen in qm,

W die stündlich durch die Wand hindurchgehende Wärmemenge,

k den sogenannten Transmissionskoeffizienten d. h. die Wärmemenge, welche pro qm bei 1° Temperaturunterschied stündlich und senkrecht durch die betreffende Wand hindurchströmt,

bei paralleler und gleichgerichteter Bewegung der Ströme (Parallelstrom, Fig. 13):

$$W = \frac{Fk\{t' - t_1 - (t'' - t_2)\}}{\log \text{nat}\,(t' - t_1) - \log \text{nat}\,(t'' - t_2)}, \tag{49}$$

bei entgegengerichteter Bewegung der Ströme (Gegenstrom, Fig. 14):

$$W = \frac{Fk\{t' - t_2 - (t'' - t_1)\}}{\log \text{nat}\,(t' - t_2) - \log \text{nat}\,(t'' - t_1)}, \tag{50}$$

bei Ruhe der Wärme abgebenden Flüssigkeit (Einstrom, Fig 15):

$$W = \frac{Fk(t_2 - t_1)}{\log \mathrm{nat}\,(t - t_1) - \log \mathrm{nat}\,(t - t_2)}, \qquad (51)$$

bei Ruhe der Wärme aufnehmenden Flüssigkeit (Einstrom, Fig. 16):

$$W = \frac{Fk\,(t' - t'')}{\log \mathrm{nat}\,(t' - t_0) - \log \mathrm{nat}\,(t'' - t_0)}. \qquad (52)$$

Unter Ruhe ist nicht absolute Ruhe zu verstehen, sondern ein rasches Ergänzen der erwärmten Theilchen durch noch nicht erwärmte, so dass eine gleichmässige Temperatur auf der mit Ruhe bezeichneten Seite angenommen werden kann.

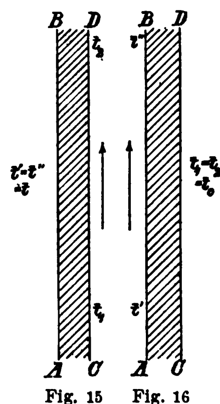


Fig. 15 Fig. 16

Für nicht sehr bedeutende Temperaturunterschiede der beiden Flüssigkeiten kann für Gleichung 49 und 50 gesetzt werden:

$$W = Fk\left(\frac{t' + t''}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2}\right) \qquad (53)$$

und sofern $t_1 = t_2 = t_0$ wird:

$$W = Fk\left(\frac{t' + t''}{2} - t_0\right) \qquad (54)$$

und endlich wenn auch $t' = t'' = t$ wird:

$$W = Fk\,(t - t_0). \qquad (55)$$

2. Wärmeaufnahme vor dem Beharrungszustande (Wärmeabsorption). Die Wärmemenge, welche ein Körper zu seiner Eigenerwärmung bei einer bestimmten Temperatur bedarf, ist das Produkt aus Gewicht, Temperatur und spezifischer Wärme. Der Vorgang, welcher von Beginn der Erwärmung bis zur Vollerwärmung vor sich geht, ist für die meisten Fälle, welche gerade bei der Erwärmung geschlossener Räume in Frage kommen, schwierig oder gar nicht in einen mathematischen Ausdruck zu bringen, wenigstens würde derselbe für die Praxis voraussichtlich nicht verwendet werden können. Im allgemeinen wird in der Praxis auch nur mit dem Beharrungszustande zu rechnen sein; nur bezüglich der Anheizdauer eines Raumes ist die Wärmeabsorption von grosser Wichtigkeit. In Ermangelung einer genauen für die Praxis verwendbaren Berechnungsweise müssen in diesen Fällen Erfahrungswerthe Verwendung finden.

Neuntes Kapitel.

Erforderliche Wärmemenge zur Erwärmung eines geschlossenen Raumes.*)

I. Wärmemenge, welche stündlich im Beharrungszustande durch die Umschliessungskörper eines Raumes verloren geht (Wärmetransmission).

1. Gleichung für die Berechnung. Für die stündlich im Beharrungszustande verloren gehende Wärmemenge kann allgemein die Gleichung 55 benutzt werden:

$$W = Fk(t - t_0),$$

worin F die Grösse der parallelen Begrenzungsflächen in qm, t die betreffende Temperatur im Raume, t_0 die betreffende äussere Temperatur, k den Transmissionskoeffizienten bedeuten.

Da in einem Raume die Temperaturen am Fussboden und an der Decke verschieden sind, so ist bei senkrechten Flächen für t und soweit t_0 die Temperatur eines Nebenraumes bedeutet auch für dieses, die mittlere Temperatur zwischen der unten und oben herrschenden einzuführen.

2. Bestimmung des Transmissionskoeffizienten. In dem Fall, wie ihn Figur 17 darstellt, ist

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{e}{\lambda} \qquad (56^a)$$

zu setzen. Es bedeutet:

a und a_0 einen Ein- bezw. Ausströmungskoeffizienten der Wärme d. h. die Wärmemenge, welche in einer Stunde bei 1° Temperaturunterschied zwischen den Begrenzungsflächen F und der dieselben berührenden Flüssigkeit (im vorliegenden Falle Luft) auf der Seite AB ein- bezw. auf der Seite CD ausströmt,

e die Dicke der Wand in m,

λ den Ueberleitungskoeffizienten der Wärme d. h. die Wärmemenge, welche bei stündlich 1° Temperaturunterschied durch 1 qm Fläche einer gleichartigen Wand von 1 m Stärke hindurchgeht.

Die Werthe von λ sind in Tabelle 8 enthalten.

*) S. a. Grashof, Theoretische Maschinenlehre. — Fischer, Heizung und Lüftung der Räume.

Besteht die Wand nicht aus einer Schicht, sondern aus Schichten von verschiedenem Material (z. B. Tapete, Putz, Mauer, Anstrich u. s. w. (siehe Fig. 18), dann ist:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \cdots\cdots + \frac{1}{a_n} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \cdots\cdots \frac{e_n}{\lambda_n}.$$

Im vorliegenden Fall kann für die Praxis jedoch gesetzt werden:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{e}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{e_n}{\lambda_n}. \qquad (56^b)$$

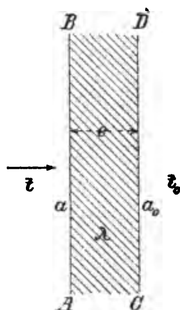


Fig. 17

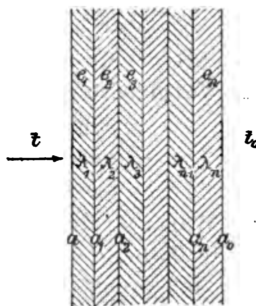


Fig. 18

Besteht die Wand aus 2 senkrechten Wänden mit dazwischen liegender Luftschicht (s. Fig. 19), oder ebenso aus 2 horizontalen Wänden, bei welchen der Wärmedurchgang von unten nach oben stattfindet, so kann für die Praxis gesetzt werden:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{e}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2}. \qquad (57)$$

Liegen die Wände horizontal und der Wärmedurchgang findet von oben nach unten statt (Fig. 20), so ist für die Praxis zu setzen:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}. \qquad (58)$$

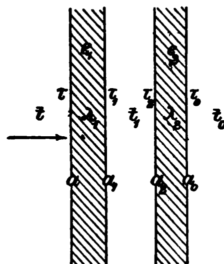


Fig. 19

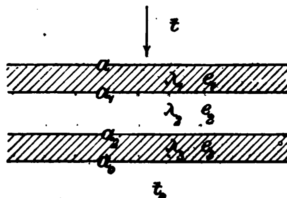


Fig. 20

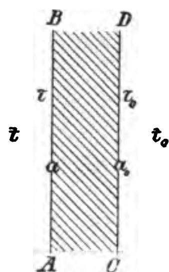


Fig. 21

In den Gleichungen von $\frac{1}{k}$ sind die Dicken der Schichten e_1, e_2, ... und die Koeffizienten λ_1, λ_2, ... bekannt.

Bis zu 60° gültig, also für alle hier in betracht kommenden Körper kann nach Peclet angenommen werden (s. Fig. 21) der Eintrittskoeffizient:

$$a = l + s + (0{,}0075\,l + 0{,}0056\,s)\,(t - \tau), \qquad (59^a)$$

der Austrittskoeffizient:

$$a_0 = l + s + (0{,}0075\,l + 0{,}0056\,s)\,(\tau_0 - t_0). \qquad (59^b)$$

Es bedeutet:

l den Wärmeleitungskoeffizienten; dieser ist zu setzen für*)
ruhige Luft . . . . = 4,
mässig bewegte Luft = 5,
stark bewegte Luft . = 6,

s den Wärmestrahlungskoeffizienten; die Werthe desselben sind in Tabelle 7 enthalten,

τ die Flächentemperatur auf der Seite AB,

τ_0 „ „ „ „ „ „ CD.

Letztere beiden müssen durch Schätzung bestimmt werden, sie sind verschieden je nach der Grösse von t und t_0 und der Stärke der Wand.

Für eine niedrigste Wintertemperatur von t_0 etwa $= -20°$ und eine Innentemperatur von t etwa $= +20°$ möge nach Schätzung $t - \tau = \tau_0 - t_0$ betragen und zwar:

für	Backsteinmauern	von	0,12 m	Stärke	8°
„	„	„	0,25 m	„	7°
„	„	„	0,38 m	„	6°
„	„	„	0,51 m	„	5°
„	„	„	0,64 m	„	4°
„	„	„	0,77 m	„	3°
„	„	„	0,90 m	„	2°
„	„	„	1,03 m	„	1°
„	„	über	1,05 m	„	0°
„	Glasfenster (einfaches)				20°
„	„ (doppeltes)				10°
„	Holzthüren				2°
„	Decken				1°
„	Innenwände				0°

*) S. a. Grashof, Theoretische Maschinenlehre.

Der mit diesen Werthen und Angaben bestimmte Transmissionskoeffizient ist streng genommen bei richtiger Schätzung von $t - \tau$ und $\tau_0 - t_0$ nur zutreffend, wenn $t - t_0 = 40°$ beträgt. Für geringe Abweichungen ist jedoch der Fehler ohne Belang, bei sehr hohen Innentemperaturen aber, z. B. bei römisch irischen Bädern ist es zweckmässig andere Schätzungen für $t - \tau$ und $\tau_0 - t_0$ zu machen und durch Bestimmung von anderen Werthen für a und a_0 auch andere Transmissionskoeffizienten zu erzielen.

Der Transmissionskoeffizient k ist immer für den ungünstigsten Fall zu bestimmen, es möge daher für die inneren Flächen einfacher Fenster in Folge des möglichen Niederschlags von Wasser $s = 5{,}3$ gesetzt werden.

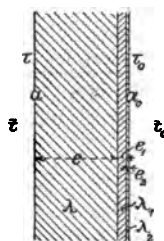
3. Beispiele für Bestimmung von Transmissionskoeffizienten.

Beispiel 1. Transmissionskoeffizient einer Aussenwand.

α) Aussen: Backsteinrohbau, innen: Putz und Tapete (Fig. 22).

Es sei:

Stärke der Mauer $e = 0{,}51$ m,
„ des Putzes $e_1 = 0{,}01$ m,
„ der Tapete $e_2 = 0{,}0001$ m.


Fig. 22

Für Aussenluft werde gesetzt (als ungünstigster Fall)

$$l = 6,$$

Für Innenluft werde gesetzt $l = 4$.

Aus Tabelle 7 und 8 geht hervor:

für Backstein und Mörtel $s = 3{,}6$, $\lambda = 0{,}69$,
„ Papier . . . . $s = 3{,}8$, $\lambda = 0{,}034$.

Nach gemachten Angaben ist bei einer Mauer von 0,51 m schätzungsweise:

$$t - \tau = \tau_0 - t_0 = 5.$$

Alsdann ist:

$$a = 4 + 3{,}8 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 3{,}8)\,5 = 8{,}0564, \text{ mithin } \frac{1}{a} = 0{,}1241$$

$$a_0 = 6 + 3{,}6 + (0{,}0075 \cdot 6 + 0{,}0056 \cdot 3{,}6)\,5 = 9{,}9258, \text{ mithin } \frac{1}{a_0} = 0{,}1007$$

$$\frac{e}{\lambda} + \frac{e_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}51 + 0{,}01}{0{,}69} = 0{,}7536$$

$$\frac{e_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}0001}{0{,}034} = 0{,}0029$$

Sa. 0,9813

also:

$$\frac{1}{k} = 0{,}9813, \quad k = 1{,}019.$$

β) Wie unter α, nur soll die Mauer eine Luftschicht erhalten (Fig. 23). Für die Luftschicht sei $l = 4$ und $\tau_1 - t_1 = t_1 - \tau_2 = 5$.

Alsdann ist:

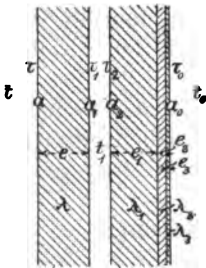


Fig. 23

$$a \text{ (wie unter } \alpha) = 8{,}0564, \qquad \frac{1}{a} = 0{,}1241$$

$$a_0 \text{ (wie unter } \alpha) = 9{,}9258, \qquad \frac{1}{a_0} = 0{,}1007$$

$$a_1 = a_2 = 4 + 3{,}6 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 3{,}6)\, 5 = 7{,}8508, \qquad \frac{2}{a_1} = 0{,}2548$$

$$\frac{e}{\lambda} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} = \frac{2 \cdot 0{,}25 + 0{,}01}{0{,}69} \qquad = 0{,}7391$$

$$\frac{e_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}0001}{0{,}034} \qquad = 0{,}0029$$

Sa. 1,2216

also:
$$\frac{1}{k} = 1{,}2216, \qquad k = 0{,}819.$$

Beispiel 2. Transmissionskoeffizient eines Aussenfensters (Fig. 24).

α) Einfaches Glas von 0,002 m Stärke.

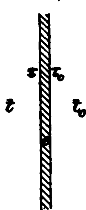


Fig. 24

Für Aussenluft ist wieder zu setzen $l = 6$.

„ Innenluft (wegen lebhafter Bewegung der Luft in Folge der Abkühlung am Fenster) . . . . . $l = 5$.

Für Glas ist $s = 2{,}91$, für Wasser (Innenfläche des Fensters in Folge möglichen Schweisswassers) 5,3. Für Glas ist $\lambda = 0{,}8$, ferner

$$t - \tau = \tau_0 - t_0 = 20.$$

Alsdann ist:

$$a = 5 + 5{,}3 + (0{,}0075 \cdot 5 + 0{,}0056 \cdot 5{,}3)\, 20 = 11{,}644, \text{ mithin } \frac{1}{a} = 0{,}0859$$

$$a_0 = 6 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 6 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\, 20 = 10{,}136, \text{ mithin } \frac{1}{a_0} = 0{,}0987$$

$$\frac{e}{\lambda} = \frac{0{,}002}{0{,}8} \qquad = 0{,}0025$$

Sa. 0,1871

also:
$$\frac{1}{k} = 0{,}1871, \qquad k = 5{,}3.^{*})$$

*) In der 1. Auflage des „Leitfadens“ ist für Innenluft $l = 4$ in Rechnung gezogen worden, demzufolge sich $k = 5{,}1$ ergab. Bei gewöhnlicher Fenstergrösse kann letzter Werth beibehalten werden, für grosse Fensterflächen (Saal-, Kirchen- etc. Fenster) ist es rathsam, obigen Werth anzunehmen. D. Verf.

β) Doppeltes Glas von je 0,002 m Stärke (Fig. 25).

Für Aussenluft ist zu setzen $l = 6$,

„ Innenluft „ „ „ $l = 4$,

„ Zwischenluft „ „ $l = 5$.

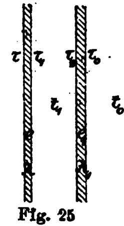


Fig. 25

Bei Doppelfenster ist s für aussen und innen $= 2{,}91$,

$$t - \tau = \tau_0 - t_0 = \tau_1 - t_1 = t_1 - \tau_2 = 10$$

zu setzen.

Alsdann ist:

$a = 4 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\, 10 = 7{,}373$, mithin $\frac{1}{a} = 0{,}136$

$a_1 = a_2 = 5 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 5 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\, 10 = 8{,}448$, mithin $\frac{2}{a_1} = 0{,}237$

$a_0 = 6 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 6 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\, 10 = 9{,}523$, mithin $\frac{1}{a_0} = 0{,}105$

$\frac{e}{\lambda} + \frac{e_1}{\lambda_1} = \frac{2 \cdot 0{,}002}{0{,}8} =$ $= 0{,}005$

Sa. 0,483

also:

$$\frac{1}{k} = 0{,}483, \quad k = 2{,}07.$$

Sofern das Innenfenster nicht dicht schliesst und an der Innenfläche des Aussenfensters sich Schweisswasser bilden kann, ergiebt sich

$$k = 2{,}24.$$

γ) Doppeltes Glas; das Fenster liegt horizontal (Oberlicht) (Fig. 26).

Alle Werthe können wie unter β angenommen werden, nur ist bei + 20° im Raume als ungünstigste Temperatur unter der Decke + 30° in Rechnung zu ziehen und dementsprechend

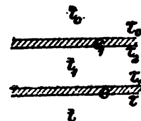


Fig. 26

$$t - \tau = \tau_0 - t_0 = \tau_1 - t_1 = t_1 - \tau_1 = 12{,}5$$

zu setzen.

Es ergiebt sich dann

$$\frac{1}{k} = 0{,}475, \quad k = 2{,}11 \text{ bezw. } 2{,}35.$$

4. Bestimmung der Aussentemperatur. Unter Aussentemperatur ist in diesem Falle nicht allein die Temperatur der das Gebäude umgebenden Aussenluft zu verstehen, sondern auch diejenige Temperatur,

welcher Wände, Thüren, Decken u. s. w., sofern sie zwischen 2 Räumen liegen, auf der Wärme abgebenden Seite ausgesetzt sind.

a) **Temperatur der das Gebäude umgebenden Aussenluft.** Für diese ist die niedrigste Temperatur anzunehmen, bis zu welcher die volle Erwärmung des Raumes erzielt werden soll. Sie wird im allgemeinen betragen in:

Mittel- und Süd-Deutschland . . . — 20°,
Nord-Deutschland . . . . — 25°.

b) **Temperatur eines neben erwärmten Räumen liegenden und nicht mit Heizung versehenen Raumes.** Sofern die einzuhaltende Temperatur aller Räume gegeben wird, so ist auch für jede Scheidewand, Zwischendecke u. s. w. der Werth von $t - t_0$ bekannt; es ist daher nur die Bestimmung der Temperatur nicht erwärmter Nebenräume von Wichtigkeit.

Diese Temperatur darf in den meisten Fällen nach Schätzung angenommen werden; sie wird für den ungünstigsten Fall etwa betragen:

bei unbeheizten und geschlossenen aber zwischen erwärmten Räumen liegenden Räumen . . . . . + 5°,

bei unbeheizten und geschlossenen im Keller oder nur einseitig neben erwärmten Räumen liegenden Räumen . . . . ± 0,

bei unbeheizten, öfter mit der Aussenluft in Verbindung stehenden Räumen (Durchfahrten, Vorhallen, Vorfluren u. s. w.), sowie bei Dachböden mit Holzcementdächern . . . . — 5°,

bei Dachböden, welche mit Ziegel oder Schiefer gedeckt sind . . . . — 10°.

Mitunter wird sich indess eine Berechnung der Temperatur eines unbeheizten Nebenraumes nöthig erweisen, z. B. wenn die Bedingung besteht, dass ein Raum nur dann zu erwärmen ist, falls die Wärmeabgabe der angrenzenden Räume nicht ausreicht ihm eine bestimmte Temperatur zu sichern.

t_0

	B t_x	
	A t	

Fig. 27

Es sei Raum A (s. Fig. 27) auf $t°$ erwärmt, Raum B, welcher ausschliesslich von A Wärme vermittelst Transmission erhalten soll, unbeheizt; Temperatur in demselben t_x, Aussentemperatur t_0.

Bezeichnet $\Sigma (Fk)(t - t_x)$ die gesammte Wärmemenge, welche Raum A an B im Beharrungszustande abgiebt, $\Sigma (F_0 k_0)(t_x - t_0)$ diejenige, welche Raum B nach aussen transmittirt, so muss sein:

$$\Sigma (Fk)(t - t_x) = \Sigma (F_0 k_0)(t_x - t_0),$$

also:

$$t_x = \frac{\Sigma (Fk) t + \Sigma (F_0 k_0) t_0}{\Sigma (Fk) + \Sigma (F_0 k_0)}. \qquad (60)$$

5. Bestimmung der Innentemperatur. Die in einem erwärmten Raume zu fordernden Temperaturen sind bereits auf Seite 24 angegeben. Diese Temperaturen verstehen sich für die Luft in der unmittelbaren Umgebung der Anwesenden. An der Decke herrschen höhere Temperaturen, auch diese haben bereits auf Seite 24 Erörterung gefunden. Es war die Temperatur an der Decke bis zu etwa + 10° Aussentemperatur zu setzen: (Gleichung 13[a])

$$t'' = t + 0{,}1\, t(h - 3).$$

Naturgemäss werden die hierdurch erhaltenen Werthe nicht immer mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Bei besonderen Verhältnissen ist daher t'' entsprechend anzunehmen, in den meisten Fällen der Praxis wird indess mit den nach obigem Ausdrucke berechneten Werthen auszukommen sein. Bei senkrechten Flächen ist, wie bereits erwähnt, für die Temperatur t in Gleichung 55 die mittlere zwischen unten und oben in Rechnung zu setzen. Für die Praxis genügt es bei Wänden und Fenstern die mittlere zwischen Fussboden und Decke, bei Thüren und Fussböden aber die in Körperhöhe verlangte einzuführen.

6. Sicherheitszuschläge. Für Bestimmung der Wärmeverluste eines Raumes sind bisher die Einflüsse des Wetters und der Himmelsrichtung nicht berücksichtigt worden. Dieselben entziehen sich der Berechnung, es sind daher Erfahrungszuschläge zu machen. Der Praxis entsprechend empfiehlt es sich den ausgerechneten Wärmeverlusten von Wänden, Fenstern und Thüren, die nach Norden, Osten, Nordosten und Nordwesten liegen, einen Zuschlag von 10 % und ausserdem noch einem gleichen Zuschlag den Wärmeverlusten derjenigen Wände, Fenster und Thüren zu geben, welche dem Windanfall besonders ausgesetzt sind.

II. Wärmemenge, welche vor dem Beharrungszustande der Erwärmung eines Raumes (Anheizdauer) durch die Wärmeaufnahme der Umschliessungskörper verloren geht (Wärmeabsorption).

Wie bereits erwähnt, stösst die Berechnung z. Z. auf unüberwindliche Schwierigkeit, es ist daher für alle diese Fälle die Erfahrung zu Hülfe zu nehmen.

Da die Wärmeaufnahme der Wände u. s. w. zu ihrer Eigenerwärmung um so grösser ist, je grösser der Temperaturunterschied zwischen den Wänden u. s. w. und der dieselben berührenden Luft sich gestaltet, so ist bis zur Erzielung des Beharrungszustandes bezüglich der Erwärmung eines Raumes (Anheizdauer) um so mehr Wärmezuführung durch den Heizkörper erforderlich, je kürzer die Betriebsunterbrechung der Heizung gedauert hat und je dicker die Wände des Raumes sind.

1. Räume, welche keine sehr bedeutende Grösse besitzen. Für solche Räume kann, sofern sie nach ihrer Erwärmung längere Benutzung erfahren, das Wärmeerforderniss für die meist nicht lang zu bemessende Anheizdauer durch geeignete Zuschläge zu der für den Beharrungszustand ermittelten Wärmetransmission gedeckt werden. Die Luft derartiger Räume erwärmt sich dann unter gleichzeitiger allmählicher Zunahme der Wandtemperaturen; die Abkühlung erfolgt entsprechend langsam. Diese Zuschläge A zu der im Beharrungszustande stattfindenden Wärmetransmission eines Raumes können nach Erfahrung des Verfassers gesetzt werden

für Räume, welche täglich, aber mit Betriebsunterbrechung während der Nacht, zu heizen sind:

$$A = \frac{0{,}0625\,(n-1)\,W_1}{z}, \qquad (61^a)$$

für Räume, welche nicht täglich zu heizen sind:

$$A = \frac{0{,}1\,W(8+z)}{z}, \qquad (61^b)$$

sofern:

W_1 die stündlich im Beharrungszustande durch Transmission der Aussenwände und Fenster eines Raumes verloren gehende Wärmemenge,

W die gesammte stündliche Transmission des Raumes im Beharrungszustande,

n die Zeit von Beendigung der täglichen Benutzung des Raumes bis zum Beginn des Anheizens,

z die Anheizdauer in Stunden bedeutet.

Grössere Zuschläge als etwa $33^1/_3\,\%$ der Transmission des Raumes im Beharrungszustande (W) zu geben, ist in Folge bedeutender Vertheuerung der Anlage nicht rathsam. In solchen Fällen soll die Anheizdauer entsprechend verlängert oder was bei täglicher Benutzung der Räume noch besser ist, ununterbrochener Betrieb der Anlage vorgesehen werden.

n richtet sich nach der Benutzung der Räume; z. B. bei einer Anheizdauer von 3 Stunden und einem Beginne des Anheizens an

den kältesten Wintertagen um 5 Uhr vormittags, wird man für Wohnräume $n = 7$ (10 Uhr nachmittags bis 5 Uhr vormittags), für Bureaux, Schulen u. s. w. $n = 12$ (5 Uhr nachmittags bis 5 Uhr vormittags) setzen können. Bei Festsälen ist z zu etwa 5 bis 6 anzunehmen.

2. Räume, welche eine bedeutende Grösse besitzen, seltener und nur kurze Zeit benutzt werden (Kirchen, Hallen u. s. w.). Für derartige Räume ist es rathsam auf Erzielung des Beharrungszustandes überhaupt zu verzichten und durch Zuführung eines grösseren Wärmeüberschusses für kurze Zeit die Luft schneller als die Wände zu erwärmen, aber auch nach Betriebseinstellung der Heizung eine rasche Abkühlung der Räume zu gestatten.

Dem Gesagten zufolge findet eine Wärmetransmission mit Ausnahme bei den Fenstern überhaupt nicht statt, die Wände werden sich nur mässig und nur bis auf eine gewisse Tiefe erwärmen. In solchen Fällen ist die Berechnung der erforderlichen Wärmemenge nach der Erfahrung zu bestimmen.

Bei Anwendung gleichmässig über dem Fussboden der Räume ausgebreiteter Heizfläche kann die erforderliche Wärmemenge gesetzt werden:

$$W = \frac{Fk\,(t - t_0)}{2} + F_1\left(23 + \frac{5\,(t - t_1)}{z}\right). \qquad (62^{a})^{*}$$

Bei Anwendung von Luftheizung zur Erwärmung der Räume ist die Einströmung möglichst unmittelbar über dem Fussboden anzuordnen und die erforderliche Wärmemenge dann zu setzen:

$$W = \frac{Fk\,(t - t_0)}{2} + F_1\left(40 + \frac{10\,(t - t_1)}{z}\right). \qquad (62^{b})$$

In den Ausdrücken bedeutet:

- F die Fensterfläche in qm,
- F_1 die Fläche sämmtlicher Wände, der Decke, des Fussbodens, der Säulen u. s. w. in qm,
- k der Transmissionskoeffizient für Glas (k für einfaches Glas $= 5{,}3$),
- t die verlangte Innentemperatur,
- t_1 die Anfangstemperatur beim Anheizen (etwa zu 0° anzunehmen),
- t_0 die niedrigste äussere Temperatur,
- z die Anheizdauer in Stunden.

---

*) Gleichung 62^a und 62^b sind von mir unter Zuhülfenahme der Betriebsergebnisse von etwa 25 Kirchenheizungen aufgestellt worden. Die Betriebsergebnisse verdanke ich vorwiegend der Freundlichkeit der Firmen E. Kelling und Rud. Otto Meyer. D. V.

Bei einer Raumhöhe über 12 m ist bei Luftheizung für jedes weitere Meter zu der berechneten Wärmemenge ein Zuschlag von 5% zu geben. Je kürzer die Anheizdauer z gewählt wird, um so geringere Wärmemengen werden die Wände innerhalb dieser Zeit aufgenommen haben und um so lebhaftere Luftbewegung wird in dem Raume herrschen. Da bei einer sachverständigen Anlage nicht allein innerhalb der bedungenen Zeit die geforderten Wärmegrade erzielt, sondern auch Zugerscheinungen möglichst vermieden werden müssen, ist es wünschenswerth den Beharrungszustand der Erwärmung der Raumluft möglichst rasch zu erzielen, also die Anheizdauer nicht zu lang zu bemessen, denselben aber bereits mehrere Stunden vor Benutzung des Raumes eintreten zu lassen. Da indess in der Praxis mit dem Anheizen vor der Benutzung des Raumes kaum eher begonnen wird, als die angegebene Anheizdauer beträgt, so empfiehlt es sich, die Anheizdauer für die Berechnung nicht zu lang anzunehmen (z. B. für Kirchen etwa 5 bis 6 Stunden), für den Betrieb aber um einige Stunden länger vorzuschreiben.

III. Berechnung der Wärmeverluste in der Praxis.

1. Aufstellung. Zur Berechnung der stündlichen Wärmetransmission nach der Gleichung 55, $W = Fk\ (t - t_0)$ sind zunächst die Fläche F des Abkühlungskörpers, die in Frage kommende Innen- und Aussentemperatur (s. S. 117 bis 119) zu bestimmen und der Transmissionskoeffizient aus der für die Praxis aufgestellten Tabelle 9 zu entnehmen. Nach Ausrechnung des Werthes von W sind die erforderlichen Zuschläge (s. Seite 119 und 120) zu machen. Für Berechnung der erforderlichen Wärmemenge zur Beheizung von sehr grossen und selten benutzten Räumen ist nach den Angaben auf S. 121 zu verfahren.

Bezüglich der Berechnung der stündlichen Wärmetransmission dürfte die Fläche F bei den Wänden eines Raumes eigentlich nicht, wie meist in der Praxis, durch die Innenmasse des betreffenden Raumes bestimmt, sondern es sollte z. B. besser die Länge oder Breite eines Raumes von Mitte zu Mitte der Begrenzungswände, die Höhe von Mitte Fussboden bis Mitte Decke gemessen werden. Diese Berechnungsweise ist aber nicht bequem, liefert auch etwas zu hohe Werthe, es erscheint zweckmässig die Länge und Breite des Raumes in Lichtmassen, als Höhe aber die ganze Geschosshöhe, also von Fussboden zu Fussboden anzunehmen. Bei den Fenstern ist zum gleichzeitigen Ausgleich von Undichtigkeiten für F die volle Fensterfläche einschliesslich Rahmen in Ansatz zu bringen.

Für Berechnung der Transmission einer Aussenwand ist zur Bestimmung der betreffenden Wandfläche zunächst von der durch

Multiplikation der Länge mit der Stockwerkshöhe gefundenen Fläche diejenige der Fenster abzuziehen. Es empfiehlt sich daher bei der Berechnung der Transmission eines Raumes zuerst mit den Fenstern und Thüren zu beginnen, dann mit den Wänden, Decken und Fussböden fortzufahren.

Zu Zwecken einer klaren Uebersichtlichkeit und schnellen Orientirung ist die Eintragung der einzelnen Abschnitte der Transmissionsberechnung in eine Tabelle erforderlich. In derselben sind der Einfachheit halber etwa folgende Abkürzungen für die Berechnung der verschiedenen Körper anzuwenden:

EF für Einfaches Fenster,
DF „ Doppel-Fenster,
IT „ Innenthür,
AT „ Aussenthür,
AW „ Aussenwand,
IW „ Innenwand,
D „ Decke,
FB „ Fussboden.

Die Tabelle kann den auf Seite 124 und 125 angegebenen Kopf erhalten.

2. Beispiel einer Wärmetransmissions-Berechnung und der Temperatur-Bestimmung eines unbeheizten Raumes. Die Transmission des Raumes I (s. Fig. 28) und die Temperatur von II, welcher als unbeheizt anzunehmen ist, sollen bestimmt werden.

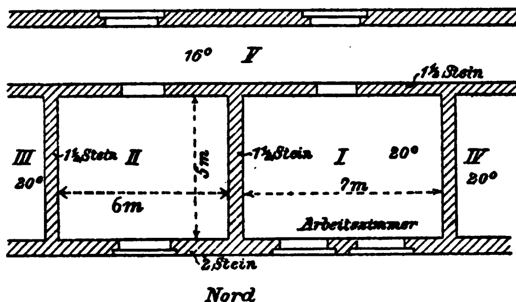


Fig. 28

Die Geschosshöhe (von Fussboden zu Fussboden) betrage 4,3 m, die Deckenstärke 0,3 m, alle übrigen Masse, sowie die Lage der Räume nach der Himmelsgegend gehen aus der Figur hervor. Ueber den Räumen liege der Dachboden, das Dach bestehe aus Schiefer. Gegeben ist:

Niedrigste Aussentemperatur	— 20°,
Temperatur im Dachraum (s. S. 118)	— 10°,
Temperatur in den Räumen I, III und IV .	+ 20°,
Temperatur im Raume V	+ 16°.

Die Transmissionskoeffizienten sind nach Massgabe der Ausführung und Wandstärken Tabelle 9 zu entnehmen; sie sollen betragen für:

Tabelle zur Berechnung der stündlichen

Raum						Abkühlungsfläche								Stärke der Wand	Temperatur in Graden Celsius		
No.	Bezeichnung	Länge m	Breite m	Höhe m	Inhalt cbm	Bezeichnung	Himmelsgegend	Länge m	Höhe bezw. Breite m	Fläche qm	Anzahl	Abzuziehen qm	In Rechnung gestellt qm	m	Innen	Aussen	Unterschied
						DF	*N*	1,8	2,5	4,5	2	—	9	—	22	— 20	42
						AW	*N*	7	4,3	30,1	1	9 (Fenster)	21,1	0,64	21	— 20	41
I.	Arbeits-					*IT*	—	1,5	2,8	4,2	1	—	4,2	0,04	20	+ 16	4
	zimmer	7	5	4	140	*IW*	—	7	4,3	30,1	1	4,2 (Thür)	25,9	0,38	21	+ 17	4
						IW	—	5	4,3	21,5	1	—	21,5	0,38	21	+7,5	13,5
						D	—	5	7	35	1	—	35	0,3	22	— 10	32
						FB	—	5	7	35	1	—	35	0,3	20	+ 22	—2

Anmerkung. Das nachfolgende Beispiel ist zur Erläuterung

Fenster (doppelte) . . . . $k = 2{,}24$
Thüren (innere) . . . . $= 1{,}46$
Aussenwände . . . . $= 0{,}9$
Innenwände . . . . $= 1{,}2$
Fussboden . . . . $= 0{,}32$
Decke . . . . $= 0{,}47$

a) **Temperaturbestimmung.**

α) Für die zu beheizenden Räume I, III und IV.

Temperatur am Fussboden . . . . 20°
Temperatur unter Decke . $20 + 0{,}1 \cdot 20(4 - 3) = 22°$
Mittlere Temperatur in den Räumen $\frac{20 + 22}{2} = 21°$

β) Für den zu beheizenden Raum V.

Temperatur am Fussboden . . . . 16°
Temperatur unter Decke . $16 + 0{,}1 \cdot 16(4 - 3) \sim 18°$
Mittlere Temperatur im Raume . . $\frac{16 + 18}{2} = 17°$

Wärmeverluste durch Transmission

Transmissions-koeffizient	Wärmeeinheiten WE	Zuschlag für Himmelsgegend	Summe der Wärmeeinheiten		Summe der Wärmeeinheiten für ununterbrochenen Betrieb	Unterbrochener Betrieb		Bemerkungen
			Abgabe	Empfang		Zuschlag	Summe der Wärmeeinheiten	
2,24	846,7	84,7	931,4			223,5		3 stündige Anheizdauer, Benutzungszeit einschliesslich Anheizdauer 17 Stunden
0,9	778,6	77,9	856,5					
1,46	24,5	—	24,5					
1,2	124,3	—	124,3					
1,2	348,3	—	348,3					
0,47	526,4	—	526,4			65,8		
0,32	—22,4	—	—	22,4				
			2811,4	22,4	2789	289,3	3078,3	

vorstehender Tabelle in dieselbe aufgenommen worden.

γ) Für den unbeheizten Raum II.

Temperatur am Fussboden . . . . . . t_x

Temperatur unter Decke $t_x + 0,1\, t_x (4 - 3) = 1,1\ t_x$

Mittlere Temperatur im Raume $\frac{t_x + 1,1\, t_x}{2} = 1,05\, t_x$

δ) Bestimmung von t_x. Der Raum II empfängt an Wärme: (die Gleichung der Transmission lautet allgemein $W = Fk\,(t - t_0)$), vom Raum I durch die Wand

$5 \cdot 4,3 \cdot 1,2\,(21 - 1,05\, t_x) = 541,80 \quad - 27,09\, t_x$

" " III " " Wand

$5 \cdot 4,3 \cdot 1,2\,(21 - 1,05\, t_x) = 541,80 \quad - 27,09\, t_x$

" " V " " Thür

$1,5 \cdot 2,8 \cdot 1,46\,(16 - t_x) = 98,11 \quad - 6,13\, t_x$

" " V " " Wand

$(6 \cdot 4,3 - 1,5 \cdot 2,8)\, 1,2\,(17 - 1,05\, t_x) = 440,64 \quad - 27,22\, t_x$

" darunter liegenden Raum durch den Fussboden . . . . . $5 \cdot 6 \cdot 0,32\,(22 - t_x) = 211,20 \quad - 9,60\, t_x$

Sa. $1833,55 \quad - 97,13\, t_x$

Der Raum II giebt Wärme ab:

durch das Fenster $1{,}1 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}8 \cdot 2{,}24 \{1{,}05\, t_x - (-20)\} = 11{,}64\, t_x + 221{,}76$

„ die Aussenwand

$1{,}1\,(6 \cdot 4{,}3 - 2{,}5 \cdot 1{,}8)\, 0{,}9 \{1{,}05\, t_x - (-20)\} = 22{,}14\, t_x + 421{,}74$

(Der Faktor 1,1 bei Fenster und Aussenwand wird durch den erforderlichen Zuschlag von 10 % für Lage nach Norden bedingt)

durch die Decke . . $5 \cdot 6 \cdot 0{,}47 \{1{,}1\ t_x - (-10)\} = 15{,}51\, t_x + 141{,}00$

Sa. $49{,}29\, t_x + 784{,}50$

Die empfangene Wärmemenge muss im Beharrungszustande gleich der abgegebenen Wärmemenge sein, also besteht die Gleichung:

$$1833{,}55 - 97{,}13\, t_x = 49{,}29\, t_x + 784{,}50,$$

aus welcher folgt:

$$t_x = \frac{1049{,}05}{146{,}42} = 7{,}16^\circ,$$

welcher Werth nach unten auf 7° abgerundet wird. Es ist mithin im Raume II:

Temperatur am Fussboden . .	7°
Temperatur unter Decke . . .	7,7° ∽ 8°
Mittlere Temperatur	$\frac{7+8}{2} = 7{,}5^\circ$

b) **Transmissions-Berechnung für Raum I.**

Raum I giebt ab:

durch die Fenster . . $2 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}8 \cdot 2{,}24 \{22 - (-20)\} =$	846,7
10 % Zuschlag wegen der Lage nach Norden . .	84,7
durch die Aussenwand $(7 \cdot 4{,}3 - 2 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}8)\, 0{,}9 \{21 - (-20)\} =$	778,6
10 % Zuschlag wegen der Lage nach Norden . .	77,9
durch die Thür (nach Raum V) $1{,}5 \cdot 2{,}8 \cdot 1{,}46\,(20 - 16) =$	24,5
durch die Innenwand (nach Raum V) $(7 \cdot 4{,}3 - 1{,}5 \cdot 2{,}8)\, 1{,}2\,(21 - 17) =$	124,3
durch die Innenwand (nach Raum II) $5 \cdot 4{,}3 \cdot 1{,}2\,(21 - 7{,}5) =$	348,3
durch die Decke . . . . $5 \cdot 7 \cdot 0{,}47 \{22 - (-10)\} =$	526,4
Sa.	2811,4

Raum I empfängt:

durch den Fussboden . . . . $5 \cdot 7 \cdot 0{,}32\,(22 - 20) =$	22,4
Stündlich in Rechnung zu stellende Transmission für ununterbrochenen Betrieb	2789 *WE.*

Wird nicht ununterbrochen, sondern nur am Tage geheizt, so ist bei 3 Stunden Anheizdauer (von 5 bis 8 Uhr) und 14 Stunden Benutzungsdauer der Räume (8 Uhr vormittags bis 10 Uhr nachmittags) n in Gleichung $61^a = 24 - 17 = 7$ zu setzen und werden die vorstehend berechneten Wärmemengen eine Erhöhung erfahren müssen in Form eines Zuschlags auf die Wärmetransmission der Fenster, der Aussenwand und — da im vorliegenden Falle die Decke als eine nach aussen transmittirende Fläche anzusehen ist — der Decke. Dieser Zuschlag beträgt nach Gleichung 61^a:

$$A = \frac{0{,}0625 \cdot 6 \cdot 2314{,}3}{3} = 289{,}3\ WE.$$

Die Gesammtwärmemenge, welche die Heizung mithin in diesem Falle während einer Stunde der dreistündigen Anheizzeit zu ersetzen hat, beträgt alsdann

$$2789 + 289{,}3 = 3078{,}3\ WE.$$

Bei einer Anheizdauer von 5 bis 8 Uhr und 8 Stunden Benutzungsdauer der Räume (8 Uhr vormittags bis 4 Uhr nachmittags) wird $n = 24 - 11 = 13$ und somit der Zuschlag

$$A = \frac{0{,}0625 \cdot 12 \cdot 2314{,}3}{3} = 578{,}6\ WE,$$

die Gesammtwärmemenge mithin:

$$2789 + 578{,}6 = 3367{,}6\ WE$$

betragen.

Werden die Räume dagegen nur selten benutzt, so ist bei einer Anheizdauer von 3 Stunden (nach Gleichung 61^b) ein Zuschlag

$$A = \frac{0{,}1 \cdot 2789 \cdot 11}{3} = 1022{,}6\ WE$$

zu machen, somit die Gesammtwärmemenge in der Stunde zu

$$2789 + 1022{,}6 = 3811{,}6\ WE$$

anzunehmen.

Zehntes Kapitel.

Ueber Heizanlagen im allgemeinen.

I. Berechnung der Heizflächen.

Bei Berechnung der Heizflächen — seien es nun Wärme aufnehmende oder Wärme abgebende — ist je nach den Verhältnissen eine der Gleichung 49 bis 54 zu benutzen.

Den Transmissionskoeffizienten *k* durch Rechnung festzustellen ist z. Z. in den meisten Fällen unthunlich. In der Praxis wird man sich daher mit Erfahrungskoeffizienten, häufig sogar mit Erfahrungswerthen für die gesammte Wärme-Abgabe oder -Aufnahme der Heizflächen begnügen müssen.

Es ist *k* d. h. die stündliche Wärmeüberführung in Wärmeeinheiten für 1° Temperaturunterschied und 1 qm Fläche zu setzen:*)

Aus Luft oder Rauch durch eine etwa 1 cm dicke Thonplatte in Luft (nach Redtenbacher)	5	
Aus Luft oder Rauch durch eine Wand von Gusseisen oder Eisenblech in Luft	7 bis 10	
Aus Luft oder Rauch durch eine gusseiserne oder schmiedeeiserne Wand in Wasser und umgekehrt	13 „ 20	
Aus Wasserdampf durch eine guss- oder schmiedeeiserne Wand in Luft	11 „ 18	
Aus Dampf durch eine metallene Wand in Wasser	800 „ 1000	
Aus Dampf durch eine Metallwand in Luft:		
unbekleidete Wand	14,3	nach Isherwood
Wand mit 6,5 mm dicker Filzdecke	5,1	nach Isherwood
„ „ 12,7 „ „ „	2,8	nach Isherwood
„ „ 19,0 „ „ „	2,0	nach Isherwood
„ „ 25,0 „ „ „	1,5	nach Isherwood
„ „ 50 „ „ „	1,0	nach Isherwood
Kieselgur-Umhüllung 15 bis 30 mm dick	1,2 bis 2	

*) S. Fischer, die Heizung und Lüftung der Räume.

Bezüglich der Wahl von *k*, sofern in dieser Aufstellung 2 Grenzwerthe angegeben sind, wird später die Rede sein; nach praktischer Erfahrung ist es nöthig, in einzelnen Fällen noch unter die untersten Grenzen herabzugehen.

II. Anforderung der Hygiene.

1. Gleichmässige Wärmevertheilung. Ueber die Temperatur, welche in einem Raume mit Rücksicht auf die verschiedene Benutzungsart im Bereiche der Anwesenden herrschen soll, sind bereits auf S. 24 die erforderlichen Angaben gemacht worden.

In einer grösseren Höhe des Raumes ist diese Temperatur nicht einzuhalten (s. S. 24); dass sie aber in horizontaler Beziehung keinen sonderlichen Schwankungen unterworfen ist, hängt im wesentlichen von dem Betriebe der Heizanlage und der Anordnung und Ausführung der Heizkörper, und sofern auch künstliche Lüftung vorgesehen ist, von der Temperatur, Geschwindigkeit und Lage des Ein- und Austritts der Luft ab. Bezüglich der Lüftung ist auf das Frühere zu verweisen (S. 32 u. f.).

a) **Betrieb der Heizungsanlage.** Die Wärme, welche stündlich ein Raum erfordert, ist von den Heizkörpern zu liefern. Dieselben geben die Wärme mittelbar oder unmittelbar an die Raumluft ab, diese erwärmt die Umschliessungskörper. Je geringer die Temperaturunterschiede zwischen Heizkörper und Raumluft einerseits und Raumluft und Umschliessungskörper andererseits sich stellen, je gleichmässiger wird sich die Wärmevertheilung gestalten. Die Temperaturunterschiede werden um so kleiner, je weniger vom Beharrungszustande der Erwärmung abgewichen wird, ununterbrochene Heizung ist daher als die für die Gesundheit beste anzusehen.

Der Aufenthalt in einem erwärmten Raume, dessen Wände viel Wärme aufnehmen (kalte oder nasse Wände), ist um deswillen ungesund und unbehaglich, weil die Wände nur einen geringen Theil der von den Anwesenden durch Strahlung empfangenen Wärme zurückstrahlen. Besonders unangenehm ist daher der Aufenthalt in Räumen mit nassen Wänden im Sommer, da die Oberflächen der Wände nicht durch Erwärmung der Raumluft einerseits auf höhere Temperatur gebracht, andererseits in trocknerem Zustande erhalten werden können. Das Beziehen neuer Gebäude sollte daher stets im Winter stattfinden.

Die Kosten des ununterbrochenen Betriebs werden, sofern eine besondere Bedienung der Anlage über Nacht nicht erforderlich ist, meist überschätzt, die Anlagekosten aber vermindern sich in dem Masse, als die erstmalige tägliche Erwärmung der Wände und der

gesteigerte Wärmebedarf beim Anheizen für die Grössenbestimmung der Anlage in Wegfall kommen.

b) **Anordnung und Ausführung der Heizkörper.** Der Temperaturunterschied zwischen der die Heizkörper verlassenden Luft und der Raumluft selbst wird um so kleiner werden, je niedriger die Temperatur der Heizkörper ist, je rascher die Luft an denselben vorübergeführt wird und je geringere Höhe sie besitzen.

Sofern nicht künstliche Mittel in Anwendung gebracht werden, wächst die Geschwindigkeit der an den Heizkörpern aufsteigenden Luft nur in geringem Masse mit der Höhe.

Es ist daher grundsätzlich rathsam niedrige Heizkörper anzuwenden, d. h. eine möglichst grosse horizontale Ausdehnung derselben vorzusehen und da die warme Luft eine aufsteigende Bewegung hat, die Heizflächen möglichst unmittelbar über Fussboden im Raume anzuordnen.

Heizflächen in Form einfacher über Fussboden herumgeführter Rohrleitungen müssen mithin in fraglicher Hinsicht als die besten angesehen werden; auch die neuerdings für Krankenhäuser häufig angewendete Fussbodenheizung ist hier zu erwähnen.

Bei Erwärmung der Räume durch Einführung warmer Luft gilt nahezu dasselbe — je niedriger die Einströmung der Luft sich befindet, je geringer ihre Temperatur ist und je vertheilter die Einströmungsöffnungen angeordnet sind, um so gleichmässiger wird sich die Wärmevertheilung gestalten.

An denjenigen Umschliessungskörpern eines Raumes, deren Flächeneinheit die grösste Wärmemenge aufnimmt, herrscht der grösste Temperaturunterschied; es ist daher an sich angemessen, auch dort die entsprechenden Heizkörper aufzustellen. Die Fenster bieten die wirksamsten Abkühlungsflächen dar; daher werden auch in den Fensterbrüstungen häufig die Heizkörper angeordnet. Sofern Heizkörper ein wenig schönes Aussehen besitzen, werden sie meist verkleidet. Diese Verkleidung kann aus Gitterwerk (s. Tafel XII, Fig. 15) bestehen, sofern sich in der Nähe der Heizkörper Niemand aufzuhalten hat bezw. aufhalten will, anderenfalls muss sie als fester Mantel hergestellt sein (s. Tafel XII, Fig. 14), in welchem die Luft unten ein, und von welchem die warme Luft oben ausgelassen wird.

Der Austritt der Luft bei Mantelverkleidung von Fensterheizkörpern erfolgt dann am besten durch vergitterte Oeffnungen im Fensterbrett, der Eintritt dagegen durch eine hinlänglich breite, hinter dem Austritt liegende Schlitzöffnung (s. Tafel XII, Fig. 16). Damit die einströmende Luft nur unter den Heizkörper gelangen kann, ist hinter diesem eine nicht bis auf den Fussboden reichende

und zwischen der Aus- und Einströmungsöffnung beginnende Scheidewand anzuordnen. Diese Ausführung setzt allerdings ein breites Fensterbrett voraus, gewährt aber den Vortheil, dass die an den Fenstern sich abkühlende Luft unter den Heizkörper gelangt, die warme Luft vor der kalten Luft aufsteigt, also die abwärts gerichteten kühleren Luftströme keine Zugerscheinungen veranlassen können.

Bei Aufenthalt von Personen in der Nähe der Fenster (Geschäftsräume u. s. w.) ist es auch ganz zweckmässig die Verkleidung etwa zu $^1/_3$ vom Fussboden gerechnet, aus Gitterwerk, die übrige aus einem festen Mantel herzustellen, damit der untere Theil des Heizkörpers Wärme über den Fussboden hinweg ausstrahlen kann.

2. Erhaltung reiner Luft. Durch die Erwärmung der Luft wird an und für sich eine Güteverminderung der Luft nicht hervorgerufen. Da aber die Luft jederzeit Staubtheilchen organischer Natur enthält, diese aber hauptsächlich Träger von Krankheitskeimen sind und auch bei Berührung mit erwärmten Flächen der Gesundheit des Menschen nachtheilige Veränderungen erfahren können (s. S. 18), so ist jederzeit einestheils für Reinhaltung der Heizkörper, anderentheils für Vermeidung sehr heisser Flächen Sorge zu tragen.

Allen Heizkörpern ist eine Form zu geben, die möglichst wenig Staubablagerung, vor allen Dingen aber Beseitigung des abgelagerten Staubes gestattet. Nach dieser Richtung sind glatte — und wie neuerdings in den Handel gebracht — emaillirte Heizkörper die besten, und die senkrechten Flächen den wagerechten vorzuziehen. Alle Heizkörper, welche eine Ansammlung des Staubes ohne die Möglichkeit einer Befreiung von demselben zulassen, sollten von der Anwendung ausgeschlossen werden. Bei Verkleidung der Heizkörper durch Gitter oder Mäntel ist jederzeit für die leichte Entfernung der Letzteren Sorge zu tragen. Mittelbare Regelung der Heizkörper durch geschlossene und nach Bedarf für den Durchgang von Luft zu öffnende Mäntel sind vom hygienischen Standpunkt nicht zu empfehlen. Diese Mäntel müssen, sofern sie in annähernd befriedigender Weise ihren Zweck erfüllen sollen, dicht schliessen, also an der Rückseite fest mit der Wand verbunden sein, am besten eine besondere Rückwand besitzen, werden aber alsdann freilich durch das Dienstpersonal selten — auch wenn die Möglichkeit vorliegt — behufs Reinigen des Heizkörpers entfernt.

Die Gefahr, welche vormals im Vorhandensein glühender Flächen (bei eisernen Oefen) in Folge der Möglichkeit der Durchlässigkeit für Kohlenoxyd erblickt wurde, wird gegenwärtig verneint; trotzdem sind glühende Flächen wegen des Verbrennens der Staubtheilchen für Erwärmung bewohnter Räume auszuschliessen.

III. Erwärmung grosser, selten benutzter Räume.

Bei grossen und selten erwärmten Räumen (s. auch S. 122) treten vor genügender Erwärmung der obersten Wandschicht sehr leicht Zugerscheinungen ein, die um so lebhafter und fühlbarer werden, je höher die Räume sind und je kräftiger geheizt wird. Bei Kirchen und Räumen, die nur auf kurze Zeit erwärmt werden und in denen die Besucher ihre Mäntel anbehalten, vermeidet man am besten lästige Zugerscheinungen durch eine möglichst gleichmässige Vertheilung der Heizkörper (Heizrohre) überall da, wo die Betreffenden ihre Plätze haben, durch ein Ableiten der kalten, an den Wänden und Fenstern niedersinkenden Luftströme unter die daselbst anzuordnenden Heizflächen, nach Art der auf Seite 131 besprochenen Verkleidung der Fensterheizkörper, und bei sehr hohen Räumen mit Oberlicht oder mit einer Kuppel durch unmittelbare Erwärmung der Luft in dieser Höhe. Bei Anwendung von Luftheizung bei hohen Kirchen u. s. w. ist es schwieriger Zugerscheinungen zu vermeiden, als bei Anwendung einer richtig vertheilten Heizrohrleitung.

Bei Festsälen u. s. w., in denen die gleichmässige Vertheilung von Heizkörpern über dem Fussboden nicht statthaft ist, muss, sofern sie am Tage oder nur bei elektrischer Beleuchtung benutzt werden, einestheils die Anheizdauer verlängert, anderentheils womöglich in verschiedenen Höhen rasch zu erwärmende und rasch erkaltende Heizkörper angeordnet werden, vor allem aber ist über Decke und Oberlicht Heizung wünschenswerth, damit die Eigenerwärmung der Wände u. s. w. in möglichst kurzer Zeit erfolgt und durch die Decke keine kalten Luftströmungen hervorgebracht werden können. An den grossen meist einfachen Fenstern empfiehlt es sich in einem gewissen Abstande Glasvorsetzer von genügender Höhe anzubringen, um hinter denselben die an den Fensterflächen sich abkühlende und herabsinkende Luft aufzufangen und ihr den gewünschten Weg nach einem Heizkörper anzuweisen. Auch wenn die Säle in Benutzung sind und kühlere Luft eingeführt werden soll, ist der Betrieb für die Fensterluft beizubehalten.

IV. Eintheilung der Heizanlagen.

Man unterscheidet in der Praxis:

A. Lokalheizung (Oertliche Heizung),
B. Centralheizung (Fernheizung, Sammelheizung)

und versteht unter Lokalheizung diejenige Heizanlage, bei welcher die Erwärmung der Räume durch Heizkörper erfolgt, welche in den

Räumen selbst sich befinden und unmittelbar geheizt werden, gleichgiltig ob die Feuerung selbst innerhalb oder ausserhalb des Raumes liegt; unter Centralheizung diejenige Heizanlage, bei welcher die Ueberführung der Wärme von dem Heizapparate nach den zu erwärmenden Räumen nicht unmittelbar, sondern durch einen geeigneten Träger der Wärme erfolgt.

A. Lokalheizung.

Diese zerfällt in:

1. Kaminheizung,
2. Ofenheizung,
3. Kanalheizung.

B. Centralheizung.

Je nach dem Träger der Wärme wird unterschieden:

1. Wasserheizung.

a) **Warmwasserheizung.**

α) Niederdruck-Warmwasserheizung.

β) Mitteldruck-Warmwasserheizung.

Die Erstere unter α setzt in ihren höchstliegenden Theilen eine mögliche Erwärmung des Wassers nicht über den Siedepunkt (100°), die Letztere eine solche bis etwa 130° voraus.

Das Wasser in der Ersteren steht über dem höchsten Punkte der Anlage in freier Verbindung mit der Atmosphäre, dasjenige in der Letzteren dagegen nicht.

Bis auf diesen einen Unterschied sind sich die beiden Systeme im Aeusseren vollkommen gleich, weshalb sie auch gemeinsame Besprechung erfahren werden.

b) **Heisswasserheizung.** (Nach dem Erfinder auch „Perkinsheizung" genannt.)

α) Mitteldruck-Heisswasserheizung.

β) Hochdruck-Heisswasserheizung.

Bei der ersteren Anlage wird das Wasser auf etwa 130—140°, bei der zweiten bis etwa 180° erwärmt; im übrigen besteht keinerlei Unterschied, weshalb recht gut überhaupt die Theilung in Mittel- und Hochdruck unterbleiben kann, zumal die Grenzen der Wassererwärmung beliebig angenommen werden können.

2. Dampfheizung.

a) **Hochdruck-Dampfheizung.**

b) **Niederdruck-Dampfheizung.**

Bei der Ersteren wird mit hochgespannten Dämpfen in den Kesseln bis zu 5—6 Atm. gearbeitet, bei der Letzteren mit Dämpfen unter 0,5 Atm. Der Hauptunterschied der Anlagen wird weniger

durch obige Bezeichnung gegeben, als dadurch, dass die erste concessionspflichtig ist und behördlicher Aufsicht untersteht, die zweite nicht. Man könnte daher die Dampfheizungen besser in „concessionspflichtige“ und „nichtconcessionspflichtige“ Dampfheizungen eintheilen.

3. Dampf-Warmwasserheizung. Diese ist eine Vereinigung der Dampf- und der Warm-Wasserheizung, d. h. eine durch Dampf statt durch direktes Feuer betriebene Warmwasserheizung.

4. Dampf-Wasserheizung. Diese stellt eine Dampfheizung dar, deren Heizkörper ganz oder zum Theil mit Wasser gefüllt sind, welches durch den Dampf erwärmt wird.

5. Luftheizung. Je nachdem ein unmittelbar durch Feuer oder mittelbar durch Wasser bezw. Dampf erwärmter Heizapparat Verwendung findet, wird unterschieden:

a) Feuer-Luftheizung,
b) Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung.

Elftes Kapitel.

Lokalheizung.

(S. Tafel VIII und IX.)

I. Kaminheizung.

Als älteste Lokalheizung ist das offene Feuer zu nennen, welches in Form der Kaminheizung auch heute noch Anwendung findet. In Deutschland wird die Kaminheizung mehr zur Annehmlichkeit, als zu regelmässiger Erwärmung der Räume vorgesehen. Die Wärmeabgabe ist schwankend, der Nutzeffekt gering.

II. Ofenheizung.

Die handelsmässige Benennung der Oefen richtet sich nach Zweck, Konstruktion, Material, Form, Bedienung u. s. w.; so giebt es Schul-, Kirchen-, Kasernen-, Krankenhaus-Oefen u. s. w., Spar-, Regulir-, Schütt-Oefen u. s. w., eiserne, thönerne, Porcellaine-Oefen, Mantel-, Ventilations-, Gesundheits-Oefen u. s. w. Diese ziemlich willkürlichen Benennungen haben häufig dazu beigetragen, die Begriffe zu verwirren und die Wahl eines Ofens für einen besonderen Zweck nicht zu erleichtern, sondern zu erschweren.

In dem Folgenden wird die Eintheilung daher nach der durch die Oefen hervorgerufenen Art und Weise der Erwärmung der Räume erfolgen.

1. Oefen für schnelles, aber nicht nachhaltiges Erwärmen der Räume. Das Material für diese Oefen ist Eisen und zwar der grösseren Dauerhaftigkeit halber: Gusseisen.

Der älteste und einfachste Ofen ist der sogenannte Kanonenofen; ein einfaches stehendes Rohr, in welchem unten auf einem Rost das Feuer liegt und von welchem oben die Verbrennungsgase abgeleitet werden. Luftzutritt und Regelung desselben erfolgt durch den verstellbaren Aschekasten. Anwendung können diese Oefen nur für vorübergehende Zwecke finden, da sie den hygienischen Ansprüchen: Vermeiden glühender Flächen, gleichmässige Wärmevertheilung im Raume, geringe strahlende Wärme u. s. w., nicht genügen und ausserdem mangelhafte Ausnutzung des Brennmaterials verursachen.

Aus den Kanonenöfen heraus ist eine ganze Reihe anderer Oefen entstanden. Bessere Ausnutzung des Brennmaterials wird bewirkt durch innere Theilung des Ofens in Feuerzüge, so dass die Gase einen längeren Weg bis zum Schornstein zurückzulegen haben. Für die Ausnutzung des Brennmaterials ist es stets zu empfehlen, die Richtung der Verbrennungsgase häufig zu ändern, damit die abgekühlten und noch nicht abgekühlten Theilchen möglichst innig gemischt werden. Das Brechen des Feuerzuges hat jedoch den Nachtheil, dass die Bogen und Kniee besonders stark erwärmt und daher leicht glühend werden.

Verminderung des Glühenwerdens der Oefen und der Züge hat man durch entsprechende Ausmauerung mit feuerfestem Material oder durch Anordnung von Rippen zu erreichen gesucht.

Die Ausmauerung hat den Nachtheil, dass zeitweise Erneuerung derselben stattfinden muss, die Rippen dagegen, dass sie nur in beschränkterem Masse das Glühen verhindern können.

Die Verminderung der strahlenden Wärme wird durch Anordnung von umschliessenden Blechmänteln bewirkt (Mantelöfen), welche aber nicht zu einer erschwerten Reinigung der Oefen von Staub führen dürfen.

Der Effekt aller dieser Oefen ist ein wechselnder, da gleichmässige Wärmeabgabe gleichmässige Verbrennung bedingt, letztere aber mit einem einfachen Rost, welcher häufige Bedienung beansprucht, nicht durchzuführen ist.

Ihre Anwendung ist nur für Zwecke schneller Erwärmung von Räumen vor Benutzung derselben zu empfehlen, d. h. wenn während der Benutzung ein weiterer Heizbetrieb nicht stattzufinden hat oder für untergeordnete Räume.

Um endlich auch die Bedienung zu vereinfachen und ein gleichmässiges Verbrennen zu erzielen, hat man Vorrichtungen zur genauen Regelung des Zugs angebracht (Regeliröfen) und dadurch allerdings eine grössere Verwendbarkeit der Oefen hervorgerufen.

2. Oefen für schnelles und nachhaltiges Erwärmen. Diese Oefen bestehen meist zum Theil aus Gusseisen, zum Theil aus gebranntem Thon. Der gusseiserne Theil dient zur raschen Erwärmung des Raumes, der thönerne Theil zur Wärmeaufspeicherung.

Die Konstruktion ist eine mannigfaltige.

Entweder besteht der Feuerraum und häufig noch ein Theil der Feuerzüge aus Gusseisen, der übrige Theil der Züge aus Thon oder auch umgekehrt, oder ein gusseiserner Ofen bildet den Einsatz eines Kachelofens.

Die ersten beiden Sorten von Oefen leisten in der nachhaltigen Erwärmung meist unbedeutendes, die letzte dagegen hat häufig den Nachtheil, dass die Einsatztheile leicht glühend werden und sich nicht von Staub reinigen lassen. Diese Fehler, welche scharfe Verurtheilung verdienen, werden in der Praxis leider viel zu wenig beachtet.

3. Oefen für langsames und nachhaltiges Erwärmen. Das Material dieser Oefen ist meist Thon. Diese Oefen, unter den Namen Kachel- auch Berliner Oefen bekannt, finden grosse Verwendung. Dieselben sind aus dem russischen bezw. schwedischen Ofen hervorgegangen (der Erstere ist viereckig, der Letztere rund), deren Thonkacheln 20 cm stark und deren Züge senkrecht steigen und fallen.

Der Berliner Ofen besteht aus meist glasirten Kacheln von ca. 21 cm Breite und 24 cm Höhe bei 1—2 cm Dicke, deren Farbenreinheit durch die sogenannte „Wahl“ bestimmt wird. Die erste Wahl ist ganz weiss, die zweite weiss, die dritte halbweiss, doch herrschen dazwischen viele Abstufungen, weshalb vor Bestellung eines Ofens Probekacheln zum späteren Vergleich gefordert werden sollen. Kacheln mit Fehlstellen heissen „bunte Kacheln“.

Bis zur Erzielung der vorschriftsmässigen Wärme in dem betreffenden Raume sind mehrere Stunden zu rechnen, dafür ist aber der Betrieb auch nach verhältnissmässig kurzer Zeit einzustellen und die Warmhaltung durch die im Ofenmaterial aufgespeicherte Wärme gesichert, wenn auch nicht regelbar. Damit während des Nachheizens möglichst wenig Wärme nach dem Schornstein entweichen kann, werden die Oefen mit hermetisch schliessenden Thüren versehen.

Die Oefen sind anzuwenden für Räume, in denen der Wärmebedarf ein gleichmässiger ist und sich nicht viel Menschen aufzuhalten haben. Sie haben den Vorzug grosser Sauberkeit.

4. Oefen für ununterbrochenen Betrieb. Das Material dieser Oefen ist behufs schneller Wärmeabgabe Gusseisen. Der ununterbrochene

Betrieb wird ohne Inanspruchnahme wesentlicher Bedienung durch einen Vorrath von Brennmaterial gesichert, welches allmählich und nach Bedarf zur Verbrennung gelangt (Schüttöfen, Füllöfen). Der ununterbrochene Betrieb gewährt die Möglichkeit einer Vermeidung überhitzter Flächen, wie sie bei unterbrochenem Betriebe nicht erzielt werden kann.

Die meisten Oefen werden jetzt mit Korbrosten nach amerikanischem Muster versehen, die den grossen Vorzug haben, dass das zur Verwendung kommende Brennmaterial nicht an den Wandungen der Oefen anliegt.

Die amerikanischen Oefen (Crownjewel etc.) sind für Anthracitfeuerung eingerichtet und für anderes Brennmaterial ungeeignet, was bei Beurtheilung dieser sonst recht gut konstruirten Oefen in betracht zu ziehen ist.

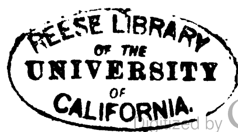
Im allgemeinen ist zu sagen, dass diejenigen Oefen den Vorzug verdienen, bei welchen das Brennmaterial vor Verbrennung vorgewärmt und die hauptsächlichste Wärmeabgabe am unteren Theile des Ofens bewirkt wird.

5. Gasöfen. Dieselben sind für unterbrochenen oder Dauer-Betrieb anzuwenden, indess werden sie trotz der leichtesten Handhabung und des sauberen Betriebs meist wegen zu hoher Gaspreise nur auf den ersteren beschränkt und auch nur aushilfsweise oder zur Unterstützung einer anderen Heizung vorgesehen. Sie besitzen den Vortheil, sehr rasch in den Beharrungszustand der Erwärmung zu kommen. Es ist jederzeit für einen Abzug der Verbrennungsgase Sorge zu tragen.

6. Oefen zur Erwärmung und gleichzeitigen Lüftung der Räume. Bei diesen Oefen, welche meist im Handel unter dem Namen „Ventilationsöfen" geführt werden, ist zu unterscheiden, ob sie nur die einzuführende Luft erwärmen, oder nur für Ableitung von Luft sorgen oder für beide Fälle gleichzeitig geeignet sein sollen. Für Vorwärmung der Zuluft kann jeder Ofen dienen, welcher von einem Mantel umgeben ist. In der Praxis wird mit diesen Mantelöfen für Zwecke der Lüftung häufig geradezu ein Unfug getrieben, denn meist umschliesst der Mantel den Ofen so eng, dass viel zu wenig Luft hindurch fliessen kann, die geringe Menge Luft aber alsdann mit sehr hoher Temperatur ausströmen muss.

Auch jeder Kachelofen kann zur Vorwärmung der Luft ohne Mühe eingerichtet werden. Sofern Oefen für Erwärmung der Zuluft Anwendung finden sollen, ist stets durch besondere Abluftkanäle, die am besten neben die betreffenden Schornsteine gelegt werden, für eine regelmässige Lüftung zu sorgen.

Die Oefen, welche lediglich für Ableitung der Luft sorgen, führen



in den meisten Fällen die Abluft den Schornsteinen zu. Es ist dies nicht zu empfehlen, da Rauch und Russ in die Räume treten können und die Schornsteine in ihren Zugverhältnissen beeinträchtigt werden.

Im allgemeinen sind überhaupt die Oefen für Erwärmung der Zuluft denjenigen für Erwärmung der Abluft vorzuziehen, weil bei letzteren Unterdruck in den Räumen hervorgerufen wird.

Ventilationsöfen, welche gleichzeitig die Erwärmung von Zu- und Abluft bewirken können, kommen verhältnissmässig nur wenig in der Praxis vor, verdienen aber naturgemäss das grössere Interesse.

7. Berechnung der Oefen. Eine Berechnung der Oefen, welche Anspruch auf Genauigkeit macht, ist kaum durchzuführen und für die Praxis auch nicht erforderlich. Jeder Ofen lässt sich durch starken Betrieb in seiner Wärmeabgabe wesentlich steigern, so dass schon ein grosser Missgriff vorliegen muss, wenn ein Zimmer durch einen Ofen — besonders wenn es ein eiserner ist — zu wenig Wärme erhält.

Dies hat dahin geführt, lediglich die Ofengrössen nach dem Kubikinhalt der Räume zu bestimmen. Es sollten die einsichtigeren Fabrikanten, wie dies ja auch in neuerer Zeit mitunter geschieht, ihre Oefen bei geschontem Betriebe auf ihre Wärmeabgabe prüfen und die Ergebnisse in ihr Preisverzeichniss aufnehmen.

Für eiserne Oefen bei unterbrochenem Betriebe kann für einen qm glatter Ofenfläche eine stündliche Wärmeabgabe von etwa 2500 *WE*, für ebensolche bei ununterbrochenem Betriebe 1500—2000 *WE* gerechnet werden. Der Werth der glatten zur gerippten Heizfläche von gleicher Grundfläche beträgt etwa 1 : 1,25.

Für Kachelöfen ist die stündliche Wärmeabgabe zu ungefähr 500—600 *WE*, bei Gasöfen die Wärmeausnutzung für 1 cbm Gas zu 4000—5000 *WE* in Ansatz zu bringen.

III. Kanalheizung.

1. Anordnung und Berechnung. Unter dieser Heizung wird ein horizontaler oder ansteigender, in dem zu erwärmenden Raume liegender Kanalzug verstanden, durch welchen die Verbrennungsgase hindurchströmen.

Dieser Kanalzug kann gemauert oder aus Gusseisen hergestellt sein; er kann frei im Raume oder in mit Gitter abgedeckten Fussbodenkanälen liegen. Die erstere Art wird häufig bei Gewächshäusern, die zweite bei Kirchen angewendet.

Da meist dem Kanalzug eine nur geringe Steigung gegeben werden kann, ist bei langer Ausdehnung am Fusse des Schornsteins die Anordnung eines sogenannten Lockfeuers nöthig, welches

beim Anheizen und bis zur Erwärmung des Schornsteins in Benutzung bleibt.

Um die Erwärmung des Schornsteins während des Betriebes der Anlage genügend zu sichern, ist die Temperatur der in den Schornstein tretenden Gase nicht unter 300° anzunehmen. Für derartige Fälle empfiehlt es sich eine genaue Berechnung des Schornsteins anzustellen.

Sofern der Kanalzug unter Fussboden liegt, ist Vorsorge zu treffen, dass durch die Gitter kein Staub und sonstige Körper auf die heissen Röhren fallen kann.

Die Berechnung der Länge des Kanalzugs oder, wenn mehrere von einer Feuerung abgehen müssen, der Kanalzüge, erfolgt unter Annahme der Querschnitte, welche in Summa mindestens gleich der freien Rostfläche sein sollen, nach Massgabe der Gleichung (52) für Einstromfläche. Die Temperatur der die Feuerung verlassenden Verbrennungsgase kann zu 1200° angenommen, die mittlere Temperatur der an den Kanalzügen erwärmten Luft muss geschätzt werden. Ein kleiner Fehler in der Schätzung ist von keinem sonderlichen Belang.

2. Beispiel zur Berechnung einer Kanalheizung und des zugehörigen Schornsteins.

Aufgabe. Es soll eine Kirche von 15 m lichter Höhe, deren Fensterflächen (einfaches Glas) 110 qm, deren Wand-, Fussboden-, Decken- und Säulenflächen 2740 qm betragen, durch eine Kanalheizung erwärmt werden. Die niedrigste Aussentemperatur ist zu —20°, die verlangte Innentemperatur zu + 12°, die Innentemperatur bei Beginn des Anheizens zu 0°, die Anheizdauer zu 6 Stunden anzunehmen. Nach Massgabe der baulichen Verhältnisse darf die grösste Länge eines Heizrohrzuges, welcher aus Gusseisen hergestellt werden soll, 35 m nicht überschreiten. Die Schornsteinhöhe beträgt 22 m.

Lösung der Aufgabe.

a) **Bestimmung der zur Erwärmung stündlich erforderlichen Wärmemenge.** Nach Gleichung 62^b ist die stündlich erforderliche Wärmemenge zu setzen, wenn der Transmissionskoeffizient für einfaches Glas $k = 5{,}3$ genommen wird:

$$W = \frac{110 \cdot 5{,}3 \left\{12 - (-20)\right\}}{2} + 2740 \left\{40 + \frac{10\,(12 - 0)}{6}\right\} = 173\,728.$$

Da die Höhe der Kirche 15 m beträgt, so ist noch ein Zuschlag von $(15 - 12)\ 5 = 15\,\%$ zu machen, so dass die gesammte in Rechnung zu stellende Wärmemenge $\backsim$ 200 000 *WE* beträgt.

b) **Bestimmung der Fläche, Anzahl und Länge der Rohrzüge.** Nimmt man gerippte Heizfläche und die Wärmeabgabe eines Quadratmeters der-

selben im Mittel zu 1500 *WE* an (s. Luftheizung), so ist eine Heizfläche von $\frac{200\,000}{1500} = 133{,}3$ qm erforderlich.

Wählt man für die Rohrzüge oblongen Querschnitt von einer lichten Weite von $0{,}34 \times 0{,}24$ m, so möge das laufende Meter 2 qm Heizfläche besitzen und ist somit ein Rohrzug von $\frac{133{,}3}{2} = 66{,}7$ m Länge erforderlich. Da die grösste Länge eines Rohrzugs indess nicht mehr als 35 m betragen darf, sind 2 Rohrzüge von je $33{,}35 \infty$ 34 m anzunehmen.

c) **Berechnung des Schornsteins.** 200 000 *WE* sind stündlich vom Brennmaterial nutzbar zu erzeugen. Rechnet man die bei der Verbrennung von 1 kg Steinkohlen nutzbar zu machende Wärmemenge zu 4000 *WE*, so sind stündlich: $p = \frac{200\,000}{4000} = 50$ kg Kohlen erforderlich.

1 kg Kohlen entwickelt bei Zuführung der doppelten theoretischen Luftmenge (siehe Aufstellung Seite 103) 22,3 kg Rauchgase von einer Dichtigkeit von 1,022. Im ganzen werden also $50 \cdot 22{,}3 = 1115$ kg Rauchgase dem Schornstein zugeführt.

Die Höhe des Schornsteins ist mit 22 m gegeben; nach Redtenbacher ist dann der Querschnitt des Schornsteins angenähert zu bestimmen (s. Gleichung 47)

$$F = \frac{1115}{924\sqrt{22}} = 0{,}257 \text{ qm};$$

des Mauermasses halber werde der Querschnitt $0{,}46 \times 0{,}53 = 0{,}2438$ qm gesetzt.

Die 1115 kg Rauchgase sollen nun mit 300° in den Schornstein treten und es möge eine zu berücksichtigende Abkühlung des Schornsteins nicht vorhanden sein. Für Beginn der Heizung und bis zur genügenden Erwärmung der Schornsteinwände ist ein Lockfeuer vorzusehen.

Durch den Schornstein sind somit in der Sekunde

$$\frac{1115\,(1 + \alpha \cdot 300)}{1{,}293 \cdot 1{,}022 \cdot 3600} = 0{,}492 \text{ cbm}$$

Rauchgase abzuleiten, was eine Geschwindigkeit von:

$$v = \frac{0{,}492}{0{,}2438} \sim 2{,}02 \text{ m}$$

erfordert.

Es fragt sich, ob diese erforderliche Geschwindigkeit thatsächlich erreicht wird.

Die erreichbare Geschwindigkeit ist nach Gleichung 43[b] zu setzen:

$$v = \sqrt{\frac{2g\left\{h\alpha t_m - n(1 + \alpha t_m)\right\}}{1 + \frac{\rho h U}{F}}}.$$

n ist die Summe aller Widerstandshöhen bis zum Eintritt der Rauchgase in den Schornstein. Die Widerstandshöhe bei Durchgang der Luft durch den Rost kann ihrer Kleinheit halber entweder vernachlässigt oder durch geringe Erhöhung der anderen Widerstandshöhen (durch Abrundung) entsprechend berücksichtigt werden. Die anderen Widerstandshöhen setzen sich zusammen aus derjenigen bei Durchgang der Luft durch das Brennmaterial und derjenigen, welche durch Reibung und Richtungsänderungen in den Rohrzügen veranlasst wird. Bezeichnet man die erste mit n_1, die zweite mit n_2, so ist:

$$n_1 \text{ (nach Grashof)} \backsim 5{,}6 \text{ m (s. S. 108)},$$

$$n_2 = \frac{v_1^2}{2g(1 + \alpha t_1)}(R_1 + \Sigma \xi_1),$$

wenn v_1 die mittlere Geschwindigkeit in den durchweg gleich weiten Rohrzügen und Einzelfüchsen, t_1 die mittlere Temperatur der durchgeführten Rauchgase, R_1 den Werth für die Reibung, $\Sigma \xi_1$ denjenigen für die einmaligen Widerstände in einem Rohrzuge bedeutet.

Die durch jeden Rohrzug stündlich zu fördernden Rauchgase betragen:

$$\frac{1115}{2} = 557{,}5 \text{ kg}.$$

Die Rauchgase verlassen den Feuerraum mit einer Temperatur von etwa 1200°, die mittlere Temperatur der Rauchgase in den Rohrzügen beträgt somit:

$$\frac{1200 + 300}{2} = 750°$$

und das Volumen der Gase, welches in der Sekunde jeden Rohrzug durchströmen muss

$$\frac{557{,}5\,(1 + \alpha\, 750)}{1{,}293 \cdot 1{,}022 \cdot 3600} = 0{,}44 \text{ cbm}.$$

Der lichte Querschnitt der Rohrzüge war zu $0{,}34 \times 0{,}24 = 0{,}0816$ qm angenommen worden, mithin ergiebt sich eine erforderliche Geschwindigkeit in den Rohrzügen von:

$$v_1 = \frac{0{,}44}{0{,}0816} = 5{,}4 \text{ m}.$$

Ein jeder Rohrzug möge noch einen 10 m langen gemauerten Fuchs erhalten, in demselben seien 3 Bogen enthalten, von welchen ein jeder als einmaliger Widerstand mit 1 in Rechnung zu setzen ist, ausserdem werde noch der Widerstand der Feuerbrücke gleich 1 gesetzt, so dass $\Sigma \xi_1 = 4$ ist. Der Reibungskoeffizient soll nach Früherem (Seite 107) zu 0,01 angenommen werden, so dass sich ergiebt:

$$n_2 = \frac{5{,}4^2}{2g\,(1 + \alpha \cdot 750)} \left\{ \frac{0{,}01\,(34 + 10)\,1{,}16}{0{,}0816} + 4 \right\} = 4{,}063.$$

Es ist somit $n = 5{,}6 + 4{,}063 = 9{,}663$, wofür aus den oben erwähnten Gründen 10 m gesetzt werden soll.

Die Werthe in die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit eingeführt, berechnet sich diese zu:

$$v = \sqrt{\frac{2g\left\{22\,\alpha \cdot 300 - 10\,(1 + \alpha \cdot 300)\right\}}{1 + 0{,}01 \cdot 22\,\dfrac{1{,}98}{0{,}2438}}} = 4{,}74 \text{ m.}$$

Die erreichbare Geschwindigkeit ist also grösser als die erforderliche, mithin ist der gewählte Schornsteinquerschnitt ausreichend. Sofern sich die Rauchgase im Schornstein auf 200° abkühlen würden, wäre die erforderliche Geschwindigkeit nicht mehr zu erreichen; wenn der Schornstein nur zu 18 m Höhe angenommen würde, müssten die Rauchgase wärmer als 300° in den Schornstein treten.

Zwölftes Kapitel.

Warmwasserheizung.

I. Allgemeine Anordnung.

Jede Wasserheizung besteht aus der Feuerungsanlage mit den Wärme aufnehmenden Heizflächen, aus einem Rohrsystem für Beförderung des Wassers und aus den Wärme abgebenden Heizflächen.

Werden 2 mit Wasser gefüllte aufsteigende Rohrzüge oben und unten miteinander verbunden und dem einen Rohrzug an einer Stelle Wärme zugeführt, dem andern an einer höher liegenden Stelle Wärme entzogen, dann stehen die beiden Wassersäulen in Folge des durch die Erwärmung bezw. Abkühlung hervorgerufenen Unterschieds

der Dichtigkeit nicht mehr im Gleichgewicht und es muss ein Fallen der abgekühlten und ein Steigen der erwärmten Wassersäule eintreten. Bleibt die Wärme-Zuführung und -Ableitung eine ständige, so wird auch eine fortdauernde Bewegung des Wassers in dem gesammten Rohrzug stattfinden.

Je grösser die senkrechte Entfernung zwischen den beiden vorerwähnten Stellen ist, um so grösser gestaltet sich die Druckdifferenz der beiden Wassersäulen und um desto schneller wird an und für sich die Bewegung des Wassers vor sich gehen.

Bei der Wasserheizung findet nun zwar die Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe nicht an einer Stelle statt, indessen ist es zulässig, diese Vorgänge sich in eine mittlere Ebene der betreffenden Heizflächen verlegt zu denken. Die Lage der Wärme abgebenden Heizflächen ist nach Massgabe der zu erwärmenden Räume bestimmt, es empfiehlt sich daher stets die Wärme aufnehmenden Heizflächen möglichst tief d. h. im Kellergeschoss unterzubringen.

Ein Wasserheizungssystem kann dem Gesagten zufolge aus einer in sich geschlossenen Rohrleitung bestehen. Alsdann ist der für die Wärmeaufnahme bestimmte Theil in irgend einer Form aufzuwinden und dem Feuer auszusetzen, der für die Wärmeabgabe bestimmte Theil beliebig in dem betreffenden Raume anzuordnen.

Bei Warmwasserheizung ist die Möglichkeit die Wärme aufnehmende Heizfläche in der angedeuteten Weise auszubilden, im Hinblick auf die erforderliche Grösse derselben, nur bei kleinen Anlagen möglich (z. B. bei Erwärmung eines einzelnen Raumes), während die Wärme abgebende Heizfläche in Form von einfacher Rohrleitung in der Praxis öfter und dann Verwendung findet, wenn dieselbe bequem und ohne Störung für die Benutzung des betreffenden Raumes angeordnet werden kann (Gewächshäuser). In den meisten Fällen jedoch werden die Heizflächen als eine Erweiterung des Rohrstrangs (Heizkessel bezw. Heizkörper) ausgebildet und somit die Möglichkeit geschaffen, auf kleinem Raum eine grosse Heizfläche unterzubringen. Es ist nun nicht erforderlich, für jeden zu erwärmenden Raum ein in sich geschlossenes System anzuwenden, sondern es kann für eine grosse Anzahl Räume ein Heizkessel und für Leitung des Wassers von dem Kessel nach den Heizkörpern und von diesen zurück nach dem Kessel zum Theil gemeinsame Rohrleitung angeordnet werden.

Die in der Praxis gebrauchten Anordnungen gehen aus den folgenden Figuren hervor.

In Fig. 29 wird das gesammte Wasser vom Kessel *A* erst vermittelst des Steigerohres *AB* bis zum höchsten Punkte der Anlage und von dort aus durch ein Vertheilungsrohr *BCD* nach den einzelnen

Fallsträngen *DE*, *CF* geleitet. Diese führen das Wasser durch die Heizkörper hindurch nach dem Sammelrohr *EFA*, welches mit dem tiefsten Punkte des Kessels in Verbindung steht.

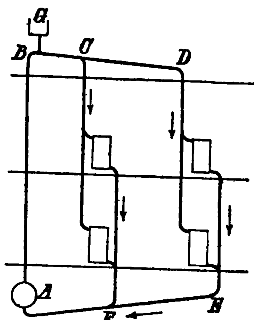


Fig. 29

In Fig. 30 liegt das Vertheilungsrohr *BCD* unterhalb der Heizkörper und führen die Steigestränge *CE*, *DF* den Heizkörpern das warme Wasser zu.

Beide Anordnungen geben die Möglichkeit, jeden einzelnen Heizkörper unabhängig von den anderen durch Ventile von der Wassercirculation auszuschalten; die Ventile verbinden die Heizkörper mit der Rohrleitung, die Ausschaltung befindet sich also in den erwärmten Räumen.

Naturgemäss kann auch von dem Kessel aus nach jedem Heizkörper und von diesem aus nach dem Kessel ein besonderes Rohr gelegt werden; in der Praxis findet indess diese Anordnung, da sie theuer und nur in vereinzelten Fällen wünschenswerth ist, selten Anwendung. Häufiger dagegen wird gemeinsame Zuleitung bis zu den Heizkörpern, wie in den Fig. 29 und 30 angegeben, und für jeden Heizkörper getrennte Rückleitung gewählt. Der Zweck dieser Anordnung besteht in der dadurch erzielten Möglichkeit, die Ventile behufs Ausschaltung der Heizkörper von der Wassercirculation aus den zu erwärmenden Räumen heraus, etwa nach dem Keller zu verlegen.

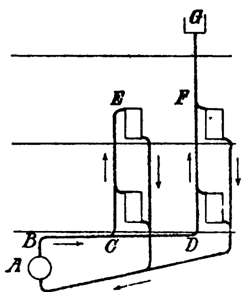


Fig. 30

Es kommt in der Praxis auch noch eine andere Anordnung, d. h. eine Vereinigung des Zu- und Rücklaufsstrangs für die übereinanderliegenden Heizkörper vor, wie Fig. 31 zeigt. Auch bei dieser ist die Ausschaltung jedes einzelnen Heizkörpers möglich, aber die Temperaturen des Wassers in den Heizkörpern stehen in Abhängigkeit von einander — die Anordnung verdient daher keine Empfehlung.

Welche von den beiden in Fig. 29 und 30 angeführte Anordnung anzuwenden ist, muss von Fall zu Fall entschieden werden. Bei der Zuführung des Wassers nach den Heizkörpern von oben her (Fig. 29) wird die Anlage etwas theurer durch das erforderliche Hauptsteigerohr *AB*; die Wärme, welche das Vertheilungsrohr bei ungenügender Umwickelung mit schlechten Wärmeleitern abgiebt, geht, sofern das Rohr auf dem Dachboden liegt, verloren; die Kontrole ist erschwert. Dagegen ist der Vortheil vorhanden, dass im Keller nur die Sammel-

leitung untergebracht werden muss, vor allen Dingen aber, dass vom Kessel aus das Wasser unmittelbar bis zum höchsten Punkte steigen kann, also sofort die Bewegung desselben in vollkommenster Weise eingeleitet wird. Zu empfehlen ist also die Anordnung immer — sie kann sogar zur Nothwendigkeit werden — wenn sich der Heizkessel in grosser horizontaler Entfernung von dem nächsten Heizkörper befindet und der Keller eine geringe Höhe besitzt. Die Vorzüge und Nachtheile der Anordnung nach Fig. 30 ergeben sich aus dem soeben Gesagten von selbst.

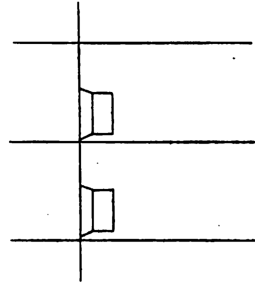


Fig. 31

Da die gesammte Anlage einer Warmwasserheizung mit Wasser gefüllt ist und sich das Wasser bei der Erwärmung ausdehnt, muss Vorsorge getroffen werden, dass eine entsprechende Wassermenge aus der Anlage aus- und nach Einstellen des Betriebes wieder in die Anlage eintreten kann. Zu diesem Zwecke wird ein genügend grosses in Fig. 29 und 30 mit *G* bezeichnetes Gefäss — das sogenannte Ausdehnungs- oder Expansionsgefäss — mit dem höchsten Punkte der Anlage verbunden.

Die gesammte Anlage soll durchgängig mit Wasser gefüllt sein, d. h. es darf nirgends zur Vermeidung von Bewegungsstörungen eine Ansammlung von Luft stattfinden.

Als Grundsatz ist daher aufzustellen: Das Wasser hat vom Eintritt in den Kessel ab bis zum höchsten Punkte der Anlage stetig, wenn auch nach den baulichen Verhältnissen in verschiedenem Masse, zu steigen, von dort ab stetig zu fallen. Muss eine Abweichung hiervon in vereinzelten Fällen (z. B. bei Umgehung eines nicht zu beseitigenden Hindernisses) eintreten, dann ist es stets erforderlich, diejenigen Punkte, an denen sich Luft ansammeln kann, mit Entlüftungsvorrichtungen zu versehen.

Bei Anordnung nach Fig. 29 entweicht die gesammte Luft durch das Ausdehnungsgefäss, bei Anordnung nach Fig. 30 kann Luftansammlung in den obersten, nicht mit dem Ausdehnungsgefässe in Verbindung stehenden Heizkörpern und deren Zulauf stattfinden. Letzterer muss daher ebenfalls mit einer Vorrichtung zum Entlüften versehen werden. Die beste Vorrichtung ist die selbstthätige, d. h. ein einfaches Rohr, welches von dem höchsten Punkte der Rohrleitung abzweigt und mit dem Ausdehnungsgefäss verbunden wird. Die Luftleitungen mehrerer Stränge können selbstverständlich zusammengeführt und durch ein gemeinsames Rohr mit dem Ausdehnungsgefäss verbunden werden. Diese Luftleitungen sind also zweck-

mässig jederzeit bei Anlagen anzuordnen, bei welchen das Vertheilungsrohr unterhalb der Heizkörper sich befindet.

II. Grösse der Wassermenge in einer Warmwasserheizung.

Warmwasserheizung, zumal die Niederdruckheizung liefert von allen bestehenden Heizsystemen die mildeste Wärme, weil nur, der äusseren Temperatur entsprechend, das Wasser in dem Heizkessel erwärmt zu werden braucht, also im Durchschnitt nicht über 60°, sie entspricht mithin in dieser Beziehung den hygienischen Anforderungen am besten.

Da das Wasser eine grosse spezifische Wärme besitzt, kann bei falscher Wahl des Wasserinhalts der Anlage eine dem jeweiligen Bedürfnisse entsprechende Wärmeregelung in den Zimmern auf Schwierigkeit stossen; es ist daher für die Heizkörper stets ein möglichst geringer Wasserinhalt anzunehmen.

Befinden sich Räume in dem Gebäude, welche besonders grosse Abkühlungsflächen haben (Ateliers, kleine Gewächshäuser u. s. w.) und nachts nicht unter eine bestimmte Temperatur abkühlen sollen, so ist zu empfehlen, die betreffenden Heizkörper durch getrennte Rohrleitung mit dem Heizkessel zu verbinden.

In dem Heizkessel selbst ist in den meisten Fällen für eine grössere Wärmeaufspeicherung Sorge zu tragen. Diese kann entweder unmittelbar durch einen entsprechenden Wasserinhalt, welcher die zeitige Einstellung des Betriebes unfühlbar macht, oder mittelbar durch eine Anhäufung von Brennmaterial erfolgen, welches dem Bedarfe entsprechend zur Verbrennung gelangt. Letztere Einrichtung führt zu ununterbrochenem Betriebe.

Bei unterbrochenem Betriebe ist die tägliche Anheizdauer bei der niedrigsten Aussentemperatur auf etwa 3 Stunden, der gesammte Heizbetrieb aber bei mittlerer Wintertemperatur nur auf etwa 6 Stunden zu bemessen. Je nach der Benutzungsdauer der Räume hat sich alsdann der Wasserinhalt des Kessels bezw. die Konstruktion desselben zu richten. Werden die Räume nur bis zum Nachmittag benutzt oder ist eine ausgiebige Beleuchtung vorhanden, so ist die Wassermenge entsprechend geringer anzunehmen, als bei Benutzung bis zum späten Abend und mässiger Gas- oder elektrischer Beleuchtung.

III. Ausführung und Bestimmung der einzelnen Theile einer Warmwasserheizung.

1. Heizkessel (s. Tafel X und XI).

a) **Eintheilung.** Unter Heizkessel sollen alle diejenigen Wärme aufnehmenden Heizkörper verstanden werden, welche nicht aus einem

einzigen in Spiralen gewundenen Rohr, dessen beschränkte Anwendung bereits angedeutet worden ist, bestehen. Als Material für Herstellung der Kessel wird Kupfer, Gusseisen, Schmiedeeisen und Stahl verwendet, am häufigsten Schmiedeeisen.

Die Kessel sind je nach der Art ihrer Wirksamkeit einzutheilen.

α) Kessel für rasches Hochheizen und rasches Erkalten. Derartige Kessel setzen einen geringen Wasserinhalt voraus; hierher gehören die meisten Röhrenkessel.

Dieselben sind nur bedingt für Wasserheizung und nur für Räume, die rasche Erwärmung und rasche Abkühlung erfahren sollen, zu empfehlen; sie nutzen häufig das Feuer in Folge zu weiten Spielraums zwischen den Röhren, zu kurzer Züge für die Verbrennungsgase und in Folge Ansammlung von Flugasche auf den Röhren mangelhaft aus.

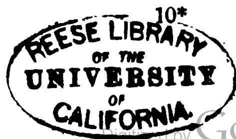
β) Kessel für langsames Hochheizen und langsames Erkalten. Hierher gehören in erster Linie die einfachen Walzenkessel, in zweiter Linie die Rauchrohrkessel bezw. Cornwallkessel.

Die Rauchrohrkessel sind für Warmwasserheizung meist sehr zu empfehlen; ihr Wasserinhalt ist innerhalb weiter Grenzen anzunehmen, sie nutzen das Feuer gut aus. Da die Kessel ganz mit Wasser gefüllt sind, legt man das oder die Rauchröhren mitten durch den Kessel. Die Kessel sind nach hinten mit etwas Fall anzuordnen; am tiefsten Punkt tritt das abgekühlte Wasser ein, am höchsten entweicht das wieder erwärmte Wasser. Da die Kessel Auflage haben müssen, so kann bei Berechnung der Heizfläche die Fläche der Böden als todte, die ganze übrige als wirksame Heizfläche in Ansatz gebracht werden.

γ) Kessel für rasches Hochheizen und langsames Erkalten. Für diese Kessel ist eine sehr grosse Heizfläche und viel Wasserinhalt erforderlich, daher in der Praxis häufig zu theuer. Zu empfehlen ist in solchen Fällen die Anwendung von 2 Kesseln, der eine mit sehr geringem Wasserinhalt, der zweite nur als eine Art Wasserreservoir ausgebildet.

Die Kessel sind derartig zu verbinden, dass mit dem ersten zunächst die Erwärmung der Heizkörper, alsdann aber die Erwärmung des Wasserinhalts des zweiten erfolgt, was mittelst einer Absperrvorrichtung (Drosselklappe, Schieber u. s. w.) leicht zu erreichen ist. Nach eingestelltem Betriebe dient der zweite Kessel alsdann als beliebig benutzbare Wärmequelle für die Heizkörper.

δ) Kessel für ununterbrochenen Betrieb. Diese Kessel sind alle mit Schüttfeuerung zu versehen und zwar soll — was vielfach in der Praxis versäumt wird — der aufzunehmende Brenn-



materialvorrath so gross sein können, dass Nachtbedienung ausgeschlossen bleibt.

ε) Kessel für besondere Zwecke. Für Kessel, welche nur sehr geringen Druck auszuhalten haben und entweder bei kleiner Form grosse Heizflächen besitzen (Gewächshäuser) oder für kleinere Anlagen dienen sollen, sind mitunter in der Praxis besonders geformte Kessel unter den verschiedensten Namen (Sattel-, Kaiser-, All-Power-, Chatworths-Sattel-, Dom-Top-Kessel u. s. w.) in Anwendung.

Es werden auch Kessel für kleinere Anlagen in Kochheerde eingebaut, um eine besondere Feuerungsanlage zu ersparen. (System Liebau.) Bei Anwendung derselben hat man darüber klar zu sein, dass sich Kochen und Heizen bezüglich der Zeit meist nicht decken.

b) **Berechnung der Kessel.** Für den Betrieb der Kessel sind bezüglich der den Räumen zuzuführenden Wärmemengen, soweit nicht ununterbrochener Betrieb vorliegt, 2 Perioden — die Periode des Anheizens und des Beharrungszustandes — bezüglich der Inanspruchnahme aber der mit der Temperatur der äusseren Luft schwankende tägliche Betrieb von Wichtigkeit. Eine Feuerungsanlage für industrielle Zwecke hat täglich nahezu dasselbe zu leisten, ein Warmwasserkessel aber je nach der äusseren Temperatur sehr verschiedene Wärmemengen zu liefern.

Die Warmwasserkessel und die zugehörigen Feuerungsanlagen besitzen somit den Nachtheil für den ungünstigsten Fall zwar bemessen, in der Regel aber nicht für den berechneten in Anspruch genommen zu werden. Um diesen Nachtheil etwas auszugleichen, ist es stets rathsam, statt eines grossen Kessels zwei kleinere zu wählen, die in ihrer Grösse im Verhältniss etwa 1 : 2 oder 2 : 3 stehen; je nach der Aussentemperatur sind dann der eine oder der andere oder alle beide zusammen in Betrieb zu nehmen. Auch zur Verminderung der erforderlichen Grösse eines gewünschten Ersatzkessels ist diese Anordnung zu empfehlen.

Im allgemeinen wird das Bestreben vorliegen müssen, die Kessel so gross zu wählen, dass sie im Durchschnitt als geschonte oder doch höchstens als mässig angestrengte Kessel betrachtet werden können.

Für die Periode des Anheizens ist eine grössere Inanspruchnahme, d. h. eine höhere Temperatur der Verbrennungsgase zu gestatten, während im Beharrungszustande eine möglichst grosse Ausnutzung der Wärme stattfinden soll. Es ist daher während des Anheizens im allgemeinen anzunehmen, dass die Heizgase mit etwa 300° in den Schornstein entweichen, während des Beharrungszustandes aber keine höhere Temperatur als 100 bis 150° über Wassertemperatur besitzen

sollen. Die Temperatur der den Rost verlassenden Heizgase kann zu 1200° in Rechnung gestellt werden.

α) Heizfläche für den Beharrungszustand. Ist W die stündliche Transmission der von dem Kessel mit Wärme zu versorgenden Räume, so ist unter Benutzung der Gleichungen 49, 50 oder 52 für den Beharrungszustand bezw. bei ununterbrochenem Betriebe die erforderliche Kesselfläche zu nehmen für

		Niederdruck	Mitteldruck
Walzenkessel . } Cornwallkessel }	$k = 16$	$\frac{W}{7400}$	$\frac{W}{6600}$
Röhrenkessel:			
Gegenstrom . .		$\frac{W}{6600}$	$\frac{W}{5500}$
Parallelstrom . .	$k = 14$	$\frac{W}{6400}$	$\frac{W}{5480}$
Einstrom . . .		$\frac{W}{6500}$	$\frac{W}{5700}$
Schüttkessel ohne Kontaktfeuerung . .	$k = 16$	$\frac{W}{7400}$	$\frac{W}{6600}$
mit Kontaktfeuerung . .	$k = 20$	$\frac{W}{9300}$	$\frac{W}{8000}$

β) Heizfläche für das Anheizen. Ist

W_1 die gesammte (nicht stündliche) bis zum Beharrungszustande in den Räumen erforderliche Wärmemenge,

W_2 die Wärmemenge, welche 1 qm Kesselheizfläche bei Abgang der Heizgase mit 300° aufnimmt,

A der Wasserinhalt der Kessel, Rohrleitung und Heizkörper in kg, wobei derjenige der Walzen-, Rauchrohr- und Cornwallkessel anzunehmen, derjenige der Röhrenkessel annähernd zu schätzen ist,

B das Gewicht des Eisens der gesammten Anlage in kg,

z die Dauer des Anheizens in Stunden,

ϑ die Temperatur, bis auf welche sich die Anlage über Nacht abkühlt (ist zu schätzen),

t_1 die mittlere Temperatur des Wassers im Beharrungszustande,

so setze man die Heizfläche in qm:

$$F = \frac{1{,}1 \left\{ W_1 + (A + 0{,}12 B)(t_1 - \vartheta) \right\}}{W_2 z}. \qquad (63)$$

Um sicher zu rechnen, ist ϑ etwa $= 30°$, ferner bei Niederdruck $t_1 = 70°$, Mitteldruck $t_1 = 100°$ anzunehmen.

Für W_2 ist alsdann zu setzen:

	Niederdruck	Mitteldruck
Walzenkessel . . Rauchrohrkessel . Cornwallkessel . .	9300	9100
Röhrenkessel. . .	8000	7800

Die nach der vorigen (unter α) und dieser Berechnungsart sich ergebende grössere Heizfläche ist für die Anlage beizubehalten; in der Regel wird diejenige für das Anheizen die bei weitem grössere sein.

Die erforderliche Menge an Brennmaterial in kg ergiebt sich dann dazu:

$$K = \frac{5\, W_2\, F}{3\, C}, \qquad (64)$$

sofern C die aus einem kg Kohlen beim Verbrennen theoretisch erzeugte Wärmemenge bedeutet (s. Aufstellung S. 108).

Ueber die Bestimmung der Rostgrössen s. S. 105.

c) **Abmessung der Kessel.** Ist bei Kesseln, deren Wasserinhalt zunächst durch Schätzung bestimmt werden muss, diese nicht genau genug erfolgt, so muss strenggenommen nach der für die berechnete Grösse von F erforderlichen Wassermenge die Rechnung nochmals angestellt werden. Bei einem Rauchrohrkessel oder Cornwallkessel kann der Wasserinhalt von vornherein nach den Erwägungen der Wärmeaufspeicherung gewählt werden und ist alsdann F die berechnete Heizfläche des Kessels in qm, I der angenommene Wasserinhalt in cbm, D der äussere Durchmesser des Kessels, d der lichte des Rauchrohres, L die Länge des Kessels in m, so setze man:

$$D = \frac{4\, I}{F} + d, \qquad (65^a)$$

$$L = \frac{F}{\pi (D + d)}. \qquad (65^b)$$

d ist anzunehmen und so lange zu ändern, bis L die passende Grösse erhält. Müsste d in bezug auf die Menge der Heizgase zu gross gewählt werden, so ist es gerathen, statt eines Kessels deren zwei anzunehmen.

d) **Ausrüstung der Kessel.** Es ist zweckmässig, die Zugregelung nicht allein durch einen Rauchschieber, sondern auch noch durch die Aschfallthür bewirken zu können; demzufolge empfiehlt es sich,

Feuer- und Aschfallthür hermetisch schliessend einzurichten und an Letzterer Luftschieber anzubringen.

Zur Messung der Wassertemperatur dient ein Thermometer dessen Quecksilberkugel in einer dünnen in das Wasser hineinragenden und mit Oel gefüllten Messingkapsel sich befindet.

Bei ununterbrochenem Betriebe sind selbstthätige Verbrennungsregler, besonders für Einhaltung einer bestimmten Wassertemperatur in der Nacht zu empfehlen.

Die Speisung der Kessel erfolgt, sofern Wasserleitung vorhanden ist, am besten durch diese, anderenfalls durch eine besondere fest mit der Anlage verbundene Handpumpe. Bei Verwendung der Wasserleitung ist es vorzuziehen, das Speisen durch die Hand des Heizers, anstatt selbstthätig auf dem Dachboden durch eine Schwimmervorrichtung bewirken zu lassen, da durch die Dauer des jedesmaligen Speisens am ehesten das Vorhandensein von Undichtigkeiten in der Anlage erkannt wird.

Sind mehrere Kessel für ein System vorhanden, so sind diese naturgemäss miteinander zu kuppeln. Es ist meist entbehrlich, die einzelnen Kessel durch Schieber abstellbar einzurichten. Bei Anwendung von Mitteldruckheizung wird noch die Anordnung eines Manometers erforderlich, womöglich mit selbstthätiger Alarmvorrichtung bei Ueberschreiten des zulässigen Drucks.

2. **Heizkörper** (s. Tafel XII).

a) **Form der Heizkörper.**

α) Gusseiserne Heizkörper. Glatte oder mit Querrippen versehene Röhren finden zweckmässig in Gewächshäusern Anwendung; für andere Räume werden die Heizkörper meist in Kasten- oder Säulenform ausgebildet und mit senkrechten oder schrägen Rippen versehen, und führen dann in der Praxis den Namen „Register".

Die Heizfläche eines solchen Registers ist beschränkt; bei erforderlicher grösserer Heizfläche werden mehrere Register, die alsdann auch Elemente genannt werden, mit einander gekuppelt. Mehrere gekuppelte Elemente bezeichnet man mit dem Namen „Batterie". Meist besitzen die Heizkörper nur einen einzigen Hohlraum, welcher mit Wasser sich füllt, mitunter sind aber noch innerhalb des Heizkörpers Scheidewände vorhanden, so dass eine besondere Führung des Wassers stattfindet.

Der Eintritt und Austritt des Wassers bei einem einzelnen Heizkörper ohne besondere innere Führungswege kann, sofern derselbe keine grössere horizontale Ausdehnung hat, als etwa seine Höhe beträgt, auf derselben Seite erfolgen, anderenfalls, besonders bei Kupplung senkrechter Elemente ist wechselseitiger Ein- und Austritt zu empfehlen.

Meist werden gusseiserne Heizkörper des besseren Aussehens halber mit Verkleidungen versehen (s. S. 130).

β) Schmiedeeiserne Heizkörper. In Form einfacher Röhren kommen sie in der Praxis wegen des schwierigen Unterbringens seltener vor, für Gewächshäuser sind sie, wegen der in denselben befindlichen feuchten Luft, nicht zu empfehlen. Als Heizkörper für Aborte, sofern sie senkrecht durch den Raum hindurchgeführt werden, eignen sie sich recht gut, da alsdann unter der Decke eine wesentlich höhere Temperatur als über Fussboden herrscht und diese die Lüftung des Raumes, welcher bei Aborten von der Decke beginnen soll, begünstigt.

Die am meisten in Anwendung befindlichen schmiedeeisernen Heizkörper sind die sogenannten „Säulenöfen" und „Rohrregister". Bei allen Heizkörpern ist bezüglich der Herstellung darauf zu achten, dass bei denselben weiche Löthungen ausgeschlossen bleiben, auch eine Dichtung der einzelnen Theile der Heizkörper selbst durch Gummi, Pappe etc. nicht stattfindet. Alle Heizkörper sind stets grundirt zu liefern.

Die Säulenöfen, sofern sie in Form von einfachen stehenden mit Sockel und Bekrönung versehenen Cylindern ausgebildet werden, besitzen sehr viel Wasser und sind daher nur bedingt zu empfehlen. Die Wassermenge wird vermindert und die Heizfläche etwas vergrössert durch Einziehung senkrechter Röhren, um welche also das Wasser und durch welche die Zimmerluft strömt. Indess auch bei dieser Konstruktion ist der gewünschte geringe Wasserinhalt nur beschränkt zu erzielen. Zu empfehlen sind Säulenöfen, welche aus 2 concentrischen Cylindern bestehen, zwischen welchen das Wasser fliesst. Diese Konstruktion ist zwar die theuerste, allein auch diejenige, bei welcher die Grösse des Wasserinhalts der Bestimmung des Konstrukteurs überlassen bleibt.

Die Rohrregister bestehen aus einer Anzahl parallel liegender Röhren, die an den beiden Enden durch — meist gusseiserne — Kästen verbunden sind, in denen das Wasser vertheilt bezw. gesammelt wird. Auch diese Heizkörper haben meist zu viel Wasser; um dieses nach Wunsch zu verringern und die Heizfläche zu vergrössern, werden durch die Röhren und die beiden Endkästen noch schwächere Röhren hindurchgezogen, so dass also die Luft durch diese hindurchströmen kann. Derartige Heizkörper bezeichnet man dann in der Praxis mit dem Namen „Doppelrohrregister". Die Form der Kästen ist eine beliebige und kann jedem Wunsche angepasst werden. Bei mehreren hintereinander liegenden Röhrenreihen ist Vorsorge zu treffen, dass die Zimmerluft alle Röhren gut umspülen kann. Die Rohrregister werden entweder mit Sockel und Bekrönung oder mit Gittermänteln versehen.

b) **Regelung der Heizkörper.** Die Regelung der Wärmeabgabe erfolgt — abgesehen von einem schwächeren Heizbetrieb — durch Veränderung der durchströmenden Wassermenge. Die Veränderung wird mittelst Ventile, Schieber oder Hähne bewirkt. Erforderlich für jeden Heizkörper ist nur eine Regelungsvorrichtung am Ausfluss des Wassers; wird auch noch am Einfluss eine solche angeordnet, so dient diese zweckmässig nur zum einmaligen und zwar derartigen Einstellen, dass bei ganz geöffneten unteren Vorrichtungen der sämmtlichen Heizkörper in allen Räumen gerade die vorgeschriebene Temperatur erreicht wird. Das spätere Erzielen einer beliebigen geringeren Temperatur erfolgt alsdann nur durch Einstellung der unteren Vorrichtung.

Für kalt gelegene Räume, besonders wenn die Heizkörper in den Fensternischen angeordnet werden, empfiehlt es sich, zur Vermeidung des Einfrierens, die Regelungsvorrichtungen derartig zu konstruiren, dass auch bei völligem Abschliessen derselben ein ganz geringer Durchfluss des Wassers stattfindet.

c) **Berechnung der Heizkörper.** Die Berechnung der Heizkörper erfolgt unter Anwendung der Gleichung 53. Die mittlere Temperatur, auf welche die Luft an dem Heizkörper erwärmt wird, muss geschätzt werden, da diese nach Art und Form des Heizkörpers eine sehr verschiedene ist und zuverlässige Angaben bislang nicht vorliegen; ebenso ist der Transmissionskoeffizient k (s. S. 128) anzunehmen.

Tabelle 10 enthält für verschiedene Formen und Grössen von Heizkörpern, sowohl unter Anwendung von Niederdruck- und Mitteldruck-Warmwasserheizung die berechnete Wärmeabgabe. Der Transmissionskoeffizient ist hierbei niedrig und nach den — allerdings noch nicht abgeschlossenen — Versuchen des Verfassers angenommen worden. In der Praxis wird gewöhnlich mit einem nicht unbedeutenden Sicherheitszuschlage gerechnet, der bei der erwähnten Unsicherheit der genauen Berechnung eine gewisse Berechtigung besitzt. Tabelle 10 enthält auch die meist in der Praxis angenommene Wärmeabgabe der verschiedenen Heizflächen.

3. Rohrleitung. Die Anordnung in bezug auf die Wasserführung nach und von den Heizkörpern hat bereits auf S. 144 Erörterung gefunden.

a) **Ausführung der Rohrleitung.** Als Material wird Kupfer, Guss- und Schmiedeeisen verwendet. Kupfer ist seines hohen Preises halber nur vereinzelt in Verwendung, gestattet jedoch die sauberste und zweckentsprechendste Ausführung. Die Dichtung der Röhren erfolgt durch Flanschen.

Gusseiserne Röhren werden wegen ihrer Schwere, leichten Brüchigkeit und der Nothwendigkeit, mit bestimmten Längen arbeiten zu müssen, selten angewendet. Für hohe Standröhren, welche auf einer

Grundplatte sich aufbauen, eignet sich Gusseisen recht gut. Die Dichtung darf nur durch Flanschen, nicht durch Muffen erfolgen.

Die am meisten verwendeten Röhren sind die schmiedeeisernen; sie sind im Feuer zu biegen, theilbar und den baulichen Verhältnissen anzupassen. Angewendet werden gewöhnlich: starkwandige Gasröhren bis etwa 63 mm lichter Weite, patentgeschweisste Sиederöhren von etwa 56 mm lichter Weite an.

Erstere werden mittelst Muffen und zwar entweder mit Rechts- und Linksgewinde oder nur mit Rechtsgewinde gedichtet. Im letzteren Falle ist sehr zu empfehlen, die Muffen seitlich abzudrehen und nach Vollendung der Rohrleitung beide Seiten durch ebenfalls (nach der Muffe zu) abgedrehte Gegenringe zu sichern. Eine derartige Verbindung gewährt den besten Schutz gegen Undichtigkeiten. Für Abzweige, Bogen u. s. w. giebt es käufliche Formstücke (Fittings). Die Röhren und Formstücke werden im Handel nach dem lichten Durchmesser verkauft.

Die patentgeschweissten Siederöhren müssen mittelst Flanschen gedichtet werden, gewöhnlich unter vorherigem Auflöthen von Bordscheiben mittelst harten Loths. Das Dichtungsmaterial ist meist Gummi mit mehrfacher Hanfeinlage. Damit der Gummi sich nicht beim Anziehen in das Rohr einpresst und den Querschnitt verengt, empfiehlt sich an der Verbindungsstelle eine dünne Blechhülse in das Rohr einzulegen. Für Abzweige, Bogen u. s. w. wendet man am besten Kupfer, häufig jedoch auch Gusseisen an.

Die Siederöhren werden im Handel nach dem äusseren Durchmesser verkauft; beim Kostenanschlag ist darauf zu achten, dass bei allen Röhren jederzeit der innere Durchmesser angegeben wird.

Bei Durchführung der Röhren durch Mauern und Decken sind dieselben in fest einzumauernde Hülsen zu legen. Die Befestigung der aufsteigenden Röhren erfolgt bei kleineren Rohrweiten meist durch Rohrhaken, bei den grösseren durch Rohrschellen. Es ist zu sorgen, dass die Röhren frei und nicht an der Wand anliegen. Die Röhren mit Muffendichtung können bei guter Ausführung in Schlitze untergebracht und diese nach längerer Probeheizung hohl zugemauert oder besser mit einer abnehmbaren Verkleidung versehen werden. Röhren mit Flanschdichtung sind stets zugänglich anzuordnen.

Die Lagerung horizontaler Röhren erfolgt auf Konsoleisen oder besser auf Rollen bezw. hängend in beweglichen Schlingen. Da die Ausdehnung der Röhren allmählich nach dem Anheizen erfolgt, ist derselben nur bei langen Leitungen durch Einschaltung sogenannter Kompensatoren Rechnung zu tragen.

Nach Fertigstellung der Rohranlage ist dieselbe einschliesslich der Kessel und Heizkörper zunächst einer Druckprobe mit kaltem Wasser

(bis etwa 5 Atmosphären am tiefsten Punkte der Anlage) auszusetzen, wobei anzunehmen ist, dass keine Undichtigkeiten vorhanden sind, sofern das Manometer 15 Minuten lang keinen Rückgang zeigt. Alsdann sind unter kräftigem Heizen alle Flanschen und nicht nur diejenigen, welche etwa tropfen sollten, nachzuziehen. Beim Heizen ist gleichzeitig die richtige Circulation des Wassers festzustellen. Die Röhren sind alsdann mit Mennigeanstrich zu versehen und mit einem schlechten Wärmeleiter (Kieselgur, Leroy'sche Masse, Kork etc.) gut zu umhüllen; Filz ist hierfür, wegen des leichten Sitzes für Ungeziefer, besonders Motten, auszuschliessen.

b) **Berechnung der Rohrleitung für den ersten Kostenanschlag.** Für den ersten Kostenanschlag — aber auch nur für diesen — ist eine angenäherte Berechnung der Rohrleitung zulässig.

Bezeichnet W die Wärmemenge, welche durch ein Rohr in der Stunde zur Abgabe nach den Heizkörpern befördert werden soll (Zulauf) oder bereits gefördert worden ist (Rücklauf), so kann der lichte Durchmesser des Rohres für die verschiedenen Wärmeeinheiten aus Tabelle 11 entnommen werden.

Die erhaltenen Werthe sind sicher und ergiebt die genaue Berechnung für die Ausführung meist kleinere Abmessungen.

c) **Berechnung der Rohrweiten für die Ausführung und den endgültigen Kostenanschlag, sofern die Rohrleitung keine Wärme abzugeben hat.***)

α) Die Grundgleichungen. Für die Ausführung kann die angenäherte Berechnung der Rohrweiten nicht beibehalten werden, sofern man sicher sein will, dass der geforderte Effekt auch wirklich erreicht wird und dass jeder Heizkörper an der Bewegung des Wassers in dem erforderlichen Masse Antheil nimmt. Die genaue Berechnung gewährt ausserdem meist den Vortheil einer nicht unbedeutenden Kostenersparniss bezüglich der Rohrleitung.

Das Wasser ist der Träger der Wärme, ein jeder Heizkörper muss eine bestimmte Wärmemenge an die Luft, von welcher der Temperaturunterschied des Wassers bei Eintritt in und bei Austritt aus dem Heizkörper abhängt, übertragen; mithin muss auch eine ganz bestimmte Menge Wasser den Heizkörper also auch die Zu- und Abflussleitung durchfliessen, d. h. es ist für das vorhandene Rohr eine ganz bestimmte Geschwindigkeit des Wassers erforderlich.

Bei jeder Anlage ist die Lage der Heizkörper und des Kessels entweder vorgeschrieben oder zu wählen, ebenso wird die Rohrleitung in ihrer Führung durch bauliche Verhältnisse oder sonstige Ueber-

*) S. a. Gesundheits-Ingenieur 1891, No. 1 u. f. sowie Birlo (Graphische Ermittelung der Rohrweiten nach obiger Theorie), Gesundheits-Ingenieur 1891, No. 8 u. f.

legungen bestimmt. Die Durchmesser der Rohrleitungen sind nun derartig zu wählen, dass nach Massgabe der bestehenden Verhältnisse die erforderliche Geschwindigkeit in einem jeden Rohre der Anlage auch thatsächlich erreicht wird. Ist die erreichbare Geschwindigkeit in allen Röhren grösser als die erforderliche, so wird die Anlage nach Drosselung der Ventile an den Heizkörpern zwar richtig arbeiten, aber zu theuer werden, ist sie dagegen kleiner oder zum Theil bedeutend grösser, zum Theil bedeutend kleiner, so dass durch Drosselung der Ventile ein Ausgleich unmöglich wird, was bei Faustrechnungen fast stets eintritt, so kann die Anlage unter Umständen zu sehr berechtigten Klagen Veranlassung geben.

Damit nun in einem jeden Rohre die erreichbare Geschwindigkeit gleich der erforderlichen wird, muss den folgenden Gleichungen Genüge geschehen.

Die erforderliche sekundliche Geschwindigkeit ist zu setzen:

$$\text{für Niederdruck: } v = \frac{W}{10\,000} \, \frac{1}{275{,}67 \, d^2 (t' - t'')}, \qquad (66^a)$$

$$\text{für Mitteldruck: } v = \frac{W}{10\,000} \, \frac{1}{267{,}18 \, d^2 (t' - t'')}. \qquad (66^b)$$

Die Gleichung zur Berechnung der erreichbaren sekundlichen Geschwindigkeit im Beharrungszustande lautet:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(l \frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right). \qquad (67)$$

In diesen Gleichungen bedeutet:

- W die stündlich durch das Wasser, sofern es im Zuflusse zu den Heizkörpern sich befindet, zu fördernde, sofern es im Abfluss sich befindet, bereits abgegebene Wärmemenge in *WE*,
- d den lichten Rohrdurchmesser in m,
- t' die Temperatur im Zufluss,
- t'' die Temperatur im Rückfluss,
- ah die wirksame Druckhöhe zur Ueberwindung aller Bewegungswiderstände in m,
- ρ den Reibungskoeffizienten,
- l die gesammte Rohrlänge in m, durch welche die für W entsprechende Wassermenge fliessen muss,
- $\Sigma\zeta$ die einmaligen Widerstände durch Richtungsänderungen, Ventile etc.

Aus Tabelle 12 geht für verschiedene Grössen von t' und t'' der Werth von a, d. h. das Verhältniss des Dichtigkeitsunterschieds zwischen dem Wasser im Fall- und Steigerohr zu der mittleren Dichtigkeit des Wassers, für welches v berechnet wird, hervor.

Es bleibt a für eine Anlage stets dasselbe unter der Annahme, dass t' und t'' auch dieselben Grössen behalten d. h. also, dass mit t' die Temperatur, mit welcher das Wasser den Heizkessel verlässt und in die Heizkörper eintritt, mit t'' die Temperatur, mit welcher das Wasser die Heizkörper verlässt und in den Heizkessel eintritt, bezeichnet wird. Durch gute Umhüllung der Rohrleitung ist die gleichmässige Erhaltung von t' und t'' annähernd und genügend zu erzielen.

Aus Tabelle 13 sind die Werthe von

$$\frac{1}{275{,}67\, d^2 (t' - t'')} \text{ bezw. } \frac{1}{267{,}18\, d^2 (t' - t'')}$$

zu entnehmen, so dass die erforderliche Geschwindigkeit nur durch Multiplikation des Werthes mit $\frac{W}{10000}$ berechnet wird.

Der Reibungskoeffizient ρ soll nach Weisbach bestimmt werden zu:

$$\rho = 0{,}01439 + \frac{0{,}009\,4711}{\sqrt{v}}$$

Tabelle 14 enthält für die verschiedenen Grössen von v die zugehörigen Werthe von ρ, ausserdem auch noch die Werthe von $\frac{v^2}{2g}$ und diejenigen von $\frac{\rho}{d}$, so dass sich auch die Gleichung 67 schnell berechnen lässt.

$\Sigma\zeta$ ergiebt sich aus der Anordnung der Anlage, und soll mit Fischer*) ζ gesetzt werden für:

ein rechtwinkliges Knie 1,
ein rundes Knie 0,3 bis 0,5,
einen Krümmer (Retourbogen) 0,5 bis 0,8,
plötzliche grosse Querschnittserweiterungen (Heizkessel, Heizkörper) 1,
geöffnete Ventile 0,5 bis 1,
geöffnete Hähne und Schieber 0,1 bis 0,3,
kleine Querschnittserweiterungen und Bogen, deren Halbmesser grösser als der fünffache Rohrdurchmesser sind, 0.

Die Wärmeabgabe der Heizkörper und die Wärmeaufnahme des Kessels wird in die Mittelebene derselben verlegt, d. h. der senkrechte Abstand zwischen Heizkörper und Kessel von Mitte zu Mitte gemessen.

*) Handbuch der Architektur, Darmstadt 1891.

β) Anwendung.

Fall 1. Bei dem einfachsten Fall einer Warmwasserheizung, welcher in der Praxis vorkommt (Fig. 32), sei A der Heizkessel, B der Heizkörper, h der senkrechte Abstand der Mittelebenen beider.

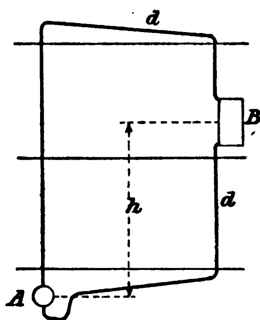


Fig. 32

Die Berechnung erfolgt nun in der Weise, dass nach Wahl der Temperaturen im Steigerohr (t') und Rücklaufrohr (t'') und nach Bestimmung von l und $\Sigma\zeta$ gemäss der Anordnung der Anlage aus der Tabelle 12 das a festgestellt, alsdann unter probeweiser Annahme von d mit Hilfe von Tabelle 13 das erforderliche v ausgerechnet und für dieses aus Tabelle 14 das $\frac{\rho}{d}$ entnommen wird. Alsdann muss nach Einsetzung des Werthes der Gleichung 67 Genüge geschehen; geschieht dies nicht, so muss die Rechnung unter Annahme eines anderen d nochmals wiederholt werden. Hierbei behalten t', t'', l, $\Sigma\zeta$ und a dieselben Werthe, so dass die Wiederholung der Rechnung eine geringe Mühe erfordert.

Fall 2. Stehen 2 Heizkörper übereinander (Fig. 33), von denen Heizkörper 1 W_1, Heizkörper 2 W_2 Wärmeeinheiten per Stunde abzugeben hat, so sei der Abstand der Mittelebene des Heizkörpers 1 von der Mittelebene des Kessels h_1, der entsprechende Abstand des Heizkörpers 2 h_2.

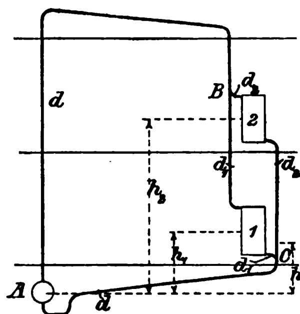


Fig. 33

Die Rohrleitung zerfällt in verschiedene Theilstrecken, in welchen verschiedene Geschwindigkeiten des Wassers herrschen. Unter „Theilstrecke" soll für die Folge jede Rohrleitung einschliesslich des etwa in derselben befindlichen Heizkörpers oder Kessels verstanden werden, welche von Anfang bis zu Ende die gleiche Menge Wasser und mit der mittleren Geschwindigkeit v zu leiten hat, also denselben Durchmesser erhält. In Fig. 33 sind also drei Theilstrecken enthalten, nämlich

$$B\,1\,C,\quad B\,2\,C,\quad C\,A\,B.$$

Das Eigenthümliche der Rohrleitung einer Warmwasserheizung besteht in dem beständig wiederkehrenden Theilen und Vereinigen zweier Wasserläufe. Bedingung für die richtige Wirkung einer

Wasserheizung ist es, dass der Druck, der durch den einen Wasserlauf an einer solchen Stelle ausgeübt wird, gleich demjenigen durch den anderen Wasserlauf ist, denn anderenfalls würde eine störende Einwirkung des einen Wasserlaufs auf den anderen eintreten müssen.

Wäre bei der Anlage nach Fig. 33 nur Heizkörper 1 vorhanden, so würde für die Geschwindigkeit des Wassers und Ueberwindung sämmtlicher Widerstände der Anlage die wirksame Druckhöhe ah_1, wäre nur Heizkörper 2 vorhanden, die wirksame Druckhöhe ah_2 in Frage kommen, da aber zwei Heizkörper mit verschiedenen Höhen vorhanden sind, so kommt für die Geschwindigkeit des Wassers und Ueberwindung der Widerstände in der ersten Theilstrecke $B1C$ und der zweiten Theilstrecke $B2C$ ein Theil der wirksamen Druckhöhen ah_1 und ah_2 in Betracht, der übrige — von den beiden Druckhöhen gleiche Theil — für die letzte Theilstrecke CAB. Wird dieser jetzt mit ah bezeichnet, so ist die wirksame Druckhöhe für die erste Theilstrecke $a\,(h_1 - h)$, für die zweite $a\,(h_2 - h)$. Je grösser ah ist, desto geringeren Durchmesser erhält das Steige- und Fallrohr, jedenfalls muss es aber kleiner als ah_1 sein, da sonst Heizkörper 1 von dem ordnungsgemässen Umlauf ausgeschlossen bleibt. Die richtige Wahl von ah gewährleistet die billigste Rohrleitung.

Für den vorliegenden Fall lauten nun bei Niederdruck die Gleichungen für die

erste Theilstrecke: $$v_1 = \frac{W_1}{10\,000} \cdot \frac{1}{275{,}67\, d_1^2\, (t' - t'')} \qquad (68^a)$$

und

$$a\,(h_1 - h) = \frac{v_1^2}{2g}\left(l_1 \frac{\rho_1}{d_1} + \Sigma\zeta_1\right), \qquad (68^b)$$

zweite Theilstrecke: $$v_2 = \frac{W_2}{10\,000} \cdot \frac{1}{275{,}67\, d_2^2\, (t' - t'')} \qquad (69^a)$$

und

$$a\,(h_2 - h) = \frac{v_2^2}{2g}\left(l_2 \frac{\rho_2}{d_2} + \Sigma\zeta_2\right), \qquad (69^b)$$

dritte Theilstrecke: $$v = \frac{W_1 + W_2}{10\,000} \cdot \frac{1}{275{,}67\, d^2\, (t' - t'')} \qquad (70^a)$$

und

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(l \frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right). \qquad (70^b)$$

Die Lösungen dieser Gleichungen können einzeln nach einander und mit Hilfe der Tabellen ohne grosse Mühe erfolgen. Man wähle, wie bei dem Fall Fig. 32, zunächst wieder die Temperaturen im Steige- und Rücklaufrohr (t' und t''), bestimme alsdann nach Mass-

gabe des Entwurfs l, l_1 und l_2, $\Sigma\zeta$, $\Sigma\zeta_1$ und $\Sigma\zeta_2$ und suche in Tabelle 12 das dem t' und t'' entsprechende a auf. Nun kann man h wählen, einfacher ist es jedoch, den Durchmesser des Rohres für den ungünstigst gelegenen Heizkörper 1 möglichst gross und nach Handelsmass zu wählen, wobei für den Ungeübten die empirische Formel $d_1 = 0{,}00052 \sqrt{W_1}$ dienen mag. Für die gewöhnliche Grenze von d_1 wird man 0,038 m annehmen können; ergiebt daher der Ausdruck einen grösseren Werth als 0,038 m, so wird man gut thun, statt eines Heizkörpers deren zwei im Raume anzuordnen — der Ausdruck gewährt somit gleichzeitig einen Anhalt für die Anzahl der in einem Raume anzuordnenden Heizkörper. Nach erfolgter Wahl von d_1 ist aus Tabelle 13 sofort der Werth von $\frac{1}{275{,}67 \cdot d_1^2 (t' - t'')}$ für Niederdruckheizung bezw. $\frac{1}{267{,}18\, d_1^2 (t' - t'')}$ für Mitteldruckheizung zu finden, welcher nur mit der Wärmemenge, welche Heizkörper 1 stündlich abzugeben hat, getheilt durch 10 000 $\left(\text{also mit } \frac{W}{10\,000}\right)$ zu multipliziren ist, um die erforderliche Geschwindigkeit (Gleichung 68^a) zu erhalten.

Diese soll gleich der erreichbaren Geschwindigkeit (in Gleichung 68^b) sein; man suche mithin für die soeben gefundene nunmehr aus Tabelle 14 das zugehörige $\frac{v_1^2}{2g}$ und $\frac{\rho_1}{d_1}$ auf und bestimme alsdann aus Gleichung 68^b, in welcher alle Grössen bis auf h bekannt sind, das Letztere. Für die übrigen Theilstrecken ist nun h gegeben, man verfährt also bei der Berechnung nur insofern anders, als man die Durchmesser nur probeweise annehmen kann und so lange ändern muss, bis den beiden Gleichungen jeder Theilstrecke (69^a und 69^b bezw. 70^a und 70^b) Genüge geschieht.

In der Praxis hat man es bei den Rohrweiten mit Handelsmassen zu thun; man wird also nicht immer die genau berechneten Durchmesser beibehalten können, sondern wird das nächstfolgende Handelsmass nehmen müssen. Aus Gründen, die weiter unten hervortreten werden, ist es indess rathsam, die genauen Durchmesser, soweit es die Tabellen gestatten, zunächst anzunehmen und erst nach beendigter Berechnung der gesammten Rohrleitung anf Handelsmass zu erhöhen.

Fall 3. Liegen drei Heizkörper übereinander (s. Fig. 34), so sind sechs Theilstrecken ($C1E$, $C2D$, $B3D$, BC, DE, EAB) vorhanden, bei denen die Widerstände der vierten und fünften (BC und DE) durch die wirksamen Druckhöhen der ersten und zweiten bezw. der zweiten und dritten mit überwunden werden müssen. Zur Vereinfachung der Rechnung denkt man sich die Rohrleitung, wie Fig. 35 zeigt, zerlegt,

so dass nur 4 Theilstrecken $B1C$, $B2C$, $B3C$ und CAB geschaffen werden, die nun genau wie früher zu behandeln sind. Es gelten dann folgende einfache Gleichungen für die erreichbare Geschwindigkeit:

$$a(h_1 - h) = \frac{v_1^2}{2g}\left(l_1 \frac{\rho_1}{d_1} + \Sigma\zeta_1\right),$$

$$a(h_2 - h) = \frac{v_2^2}{2g}\left(l_2 \frac{\rho_2}{d_2} + \Sigma\zeta_2\right),$$

$$a(h_3 - h) = \frac{v_3^2}{2g}\left(l_3 \frac{\rho_3}{d_3} + \Sigma\zeta_3\right),$$

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(l \frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right).$$

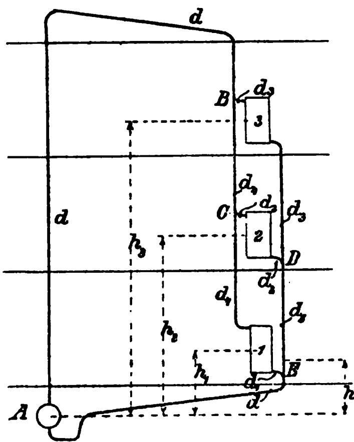


Fig. 34

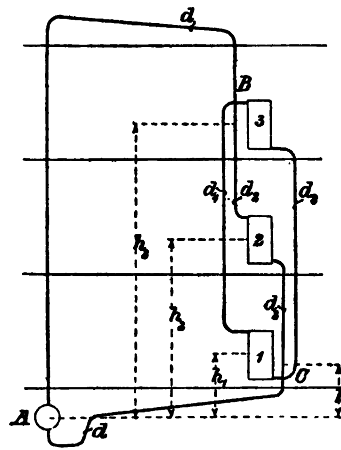


Fig. 35

Um nun den Durchmesser d_4 von der Theilstrecke BC und d_5 von der Theilstrecke DE in Fig. 34 zu finden, setze man:

$$d_4 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} \qquad (71^a)$$

$$d_5 = \sqrt{d_2^2 + d_3^2} \qquad (71^b)$$

Die so gefundenen Durchmesser sind ein wenig zu gross, doch ist der Fehler nicht bedeutend, zumal im Hinblick, dass doch meist etwas grössere Handelsmasse als die berechneten angenommen werden müssen. Man sieht indess, dass bei Bestimmung von d_4 und d_5 die wirklich berechneten und nicht etwa die schon auf Handelsmass erhöhten Durchmesser von d_1, d_2 und d_3 eingesetzt werden müssen, wodurch der Vorschlag, alle Erhöhungen erst am Schluss der gesammten Rechnung vorzunehmen, Erklärung findet.

Ist die Anordnung der Rohrleitung wie Fig. 36 zeigt, dann ergeben sich nur folgende 6 Theilstrecken: $B1E$, $C2D$, $C3D$, CB, DE,

EAB. Die Zerlegung erfolgt dann nach Fig. 37 und sind die Theilstrecken: *B*1*C*, *B*2*C*, *B*3*C*, *CAB*. Die Gleichungen lauten wie früher, nur fällt d_5 fort und wird:

$$d_4 = \sqrt{d_2^2 + d_3^2} \qquad (71^c)$$

Bei Fig. 36 und 37 wird selbstverständlich der Durchmesser (d_3) der Theilstrecke *B*3*C* grösser als bei Anordnung nach Fig. 34, der Durchmesser der Hauptleitung (wegen Verminderung der Widerstände) kleiner, was für den Kostenpunkt von Vortheil ist.

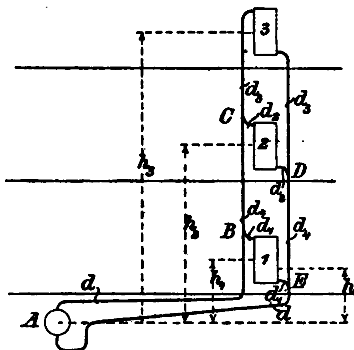


Fig. 36

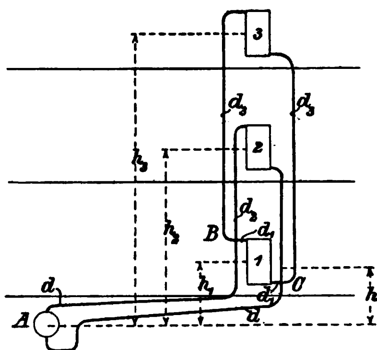


Fig. 37

Fall 4. Vom Hauptvertheilungsrohr zweigen drei Fallstränge mit je drei Heizkörpern ab (Fig. 38).

Das Prinzip, welches der Berechnung zu Grunde gelegt werden muss, ist das bereits besprochene — an jedem Zusammentreffen zweier Wasserläufe muss der Druck des einen gleich dem des andern sein. Die Bezeichnungen der Durchmesser, Geschwindigkeiten, Rohrlängen etc. mögen für Strang I dieselben wie die bei Fig. 34 benutzten sein, für Strang II und III sollen die gleichen Bezeichnungen nur mit dem Kennzeichen ′ und ″ benutzt werden, so dass also z. B. dem Durchmesser d_1, der Höhe h_1 u. s. f. bei Strang I, dem Durchmesser d_1', der Höhe h_1' u. s. f. bei Strang II, d_1'', h_1'' u. s. f. bei Strang III entspricht. Die Summe der Wärmeeinheiten der drei an

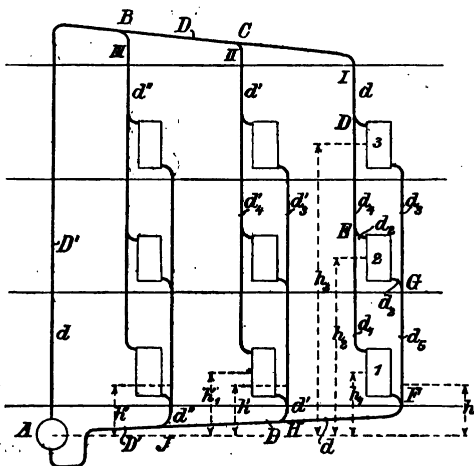


Fig. 38

Strang I befindlichen Heizkörper, also $W_1 + W_2 + W_3$, sei gleich W gesetzt, diejenige der an Strang II befindlichen Heizkörper W', am Strang III befindlichen Heizkörper W''.

Die Theilstrecken von Strang I sind $E1F$, $E2G$, $D3G$, DE, GF und $CD + FH$, ebenso sind die Theilstrecken der Stränge II und III sofort aufzustellen. Zu den Theilstrecken der Fallstränge treten noch diejenigen des Hauptsteigestrangs, der Vertheilungs- und Sammelleitung hinzu; diese sind: $BC + HJ$ und JAB.

Die Werthe des Fallstrangs I werden genau wie früher die Werthe bei Fig. 34 bestimmt; ah ist wieder die wirksame Druckhöhe, welche zur Ueberwindung der Widerstände im gesammten Zu- und Rücklauf dienen muss, d. h. also für die Strecke $FHJABCD$; mithin ist zu setzen:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(l\frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right) + \frac{V^2}{2g}\left(L\frac{P}{D} + \Sigma Z\right) + \frac{V'^2}{2g}\left(L'\frac{P'}{D'} + \Sigma Z'\right), \quad (72^a)$$

sofern: V die sekundliche Geschwindigkeit des Wassers in der Theilstrecke $BC + HJ$, L die Länge derselben, P den Reibungskoeffizienten, ΣZ die Summe der einmaligen Widerstände, V' die sekundliche Geschwindigkeit des Wassers in der Theilstrecke JAB, L' die Länge derselben u. s. w. bedeuten, die Werthe in den Klammern also die Ausdrücke für die Reibung und einmaligen Widerstände darstellen.

Es hindert nun nichts —, da lediglich die wirksame Druckhöhe ah die Widerstände aller Theilstrecken im Vertheilungs-, Sammel- und Steigerohr überwinden muss, V und V' durch v auszudrücken, es ist also z. B. möglich $V' = V = v$, oder $D' = D = d$ zu setzen und die Geschwindigkeiten entsprechend zu bestimmen.

Setzt man $V' = V = v$, so geht Gleichung 72ᵃ, da alsdann $P' = P = \rho$ ist, über in die andere:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left\{l\frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta + L\frac{\rho}{D} + \Sigma Z + L'\frac{\rho}{D} + \Sigma Z'\right\}, \quad (72^b)$$

oder, da sich nach Gleichung 66ᵃ die Durchmesser bei gleicher Geschwindigkeit des Wassers verhalten müssen wie die Wurzeln aus den Wärmemengen, also da:

$$D = \frac{d\sqrt{W + W'}}{\sqrt{W}}, \quad (73)$$

$$D' = \frac{d\sqrt{W + W' + W''}}{\sqrt{W}}, \quad (74)$$

ist,

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l + \frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'}} + \frac{L'\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'+W''}}\right) + \right.$$

$$\left. + \Sigma\zeta + \Sigma Z + \Sigma Z'\right\}. \qquad (75)$$

Setzt man dagegen $D' + D = d$, dann muss in Gleichung 72[a] eingeführt werden für:

$$V = \frac{v(W+W')}{W}, \qquad (76^a)$$

$$V = \frac{v(W+W'+W'')}{W}. \qquad (76^b)$$

Dieser letzte Fall wird in der Praxis wohl nur selten verlangt werden — man ersieht nur, dass eine grosse Anzahl verschiedener Rohrdurchmesser bei ein und derselben Anlage möglich sind, allerdings müssen alle in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen.

Soweit die Bestimmung der Durchmesser der Hauptvertheilungs- und Sammelleitung.

Was nun die Rohrdurchmesser der Theilstrecken von den übrigen Strängen II und III betrifft, so werden dieselben genau wie im Fall bei Figur 34 bestimmt, sobald h' bezw. h'' berechnet bezw. angenommen worden ist.

In den Treffpunkten H und J muss -- entsprechend dem Früheren — der Druck der beiden daselbst zusammentreffenden Wasserläufe einander gleich sein, es wird also für Punkt H die Gleichung bestehen müssen:

$$ah - \frac{v^2}{2g}\left(l\,\frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right) = ah' - \frac{v'^2}{2g}\left(l'\,\frac{\rho'}{d'} + \Sigma\zeta'\right). \qquad (77)$$

Dagegen für Punkt J:

$$ah - \frac{v^2}{2g}\left(l\,\frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right) - \frac{V^2}{2g}\left(L\,\frac{P}{D} + \Sigma Z\right) = ah'' - \frac{v''^2}{2g}\left(l''\,\frac{\rho''}{d''} + \Sigma\zeta''\right), \qquad (78^a)$$

oder wenn $v = V$ gesetzt worden ist:

$$ah - \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l + \frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'}}\right) + \Sigma\zeta + \Sigma Z\right\} =$$

$$ah'' - \frac{v''^2}{2g}\left(l''\,\frac{\rho''}{d''} + \Sigma\zeta''\right). \qquad (78^b)$$

Aus den Gleichungen 77 und 78[a] bezw. 78[b] ersieht man, in welchem Masse die dem Kessel näher gelegenen Fallstränge vor den ferner gelegenen bevorzugt sind.

Setzt man nun $h' = h'' = h$, dann werden in den Gleichungen die Widerstandshöhen der linken gleich der rechten Seite, d. h. mit anderen Worten, je näher die Fallstränge dem Kessel liegen, desto geringere Durchmesser müssen ihre Zu- und Rückläufe erhalten. Auf die Durchmesser der übrigen Theilstrecken in den Fallsträngen wird dann durch die grössere Nähe zum Kessel ein Einfluss nicht ausgeübt, es können also dann unter Umständen dieselben weiter werden müssen, als die Zu- und Rückläufe der einzelnen Stränge. Will man den Vortheil der schwächeren Rohrdurchmesser auf alle Theilstrecken eines jeden Fallstranges vertheilen, statt denselben lediglich auf die Zu- und Rückläufe zu vereinigen, so darf man h' und h'' nicht gleich h setzen, sondern kann v' bezw. v'' in ein bestimmtes Verhältniss zu v bringen und sofern man früher $V = V' = v$ gemacht hat, auch $v' = v'' = v$ annehmen und h' und h'' bestimmen. Für die Einfachheit der Rechnung ist der letztere Fall für die Praxis wohl meist zu empfehlen und erhält man, wenn man also v' bezw. v'' durch v und d' bezw. d'' durch d ausdrückt, d. h.

$$d' = \frac{d\sqrt{W'}}{\sqrt{W}}$$

und

$$d'' = \frac{d\sqrt{W''}}{\sqrt{W}}$$

setzt, aus Gleichung (77)

$$a h' = a h - \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l - \frac{l'\sqrt{W}}{\sqrt{W'}}\right) + \Sigma\zeta - \Sigma\zeta'\right\}, \qquad (79)$$

und aus Gleichung (78^b)

$$a h'' = a h - \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l + \frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'}} - \frac{l''\sqrt{W}}{\sqrt{W'}}\right) + \right.$$
$$\left. + \Sigma\zeta + \Sigma Z - \Sigma\zeta''\right\}, \qquad (80)$$

aus welchen Gleichungen h' und h'', welche alsdann für die übrigen Theilstrecken des Stranges II bezw. III zu Grunde zu legen sind, leicht berechnet werden können.

Geschieht bei einer Ausführung den Gleichungen 77 und 78^a bezw. 78^b nicht Genüge, d. h. ist die rechte Seite grösser als die linke, dann muss Strang I in dem Umlauf zurückbleiben, was sich zunächst durch das Zurückbleiben des untersten Heizkörpers kund giebt. Je grösser die Ungleichheit ist, oder wenn gar die linke Seite der Gleichung

negativ wird, um so grössere Umlaufsstörungen treten ein, und es kann auf diese Weise vorkommen, dass der unterste Heizkörper des Stranges I auch nach langem Heizbetrieb ungenügend, unter Umständen gar nicht warm wird.

Die Berechnung der Anlage geschieht nun am besten in der Weise, dass man zunächst für den ungünstigst gelegenen Heizkörper, also für denjenigen, welcher in wagerechter Entfernung am weitesten, in senkrechter Entfernung am nächsten dem Kessel liegt, den Rohrdurchmesser annimmt und alsdann die für das Hauptvertheilungs-, Sammel- und Steigerohr wirksame Druckhöhe ah bestimmt, alsdann sofort die Durchmesser der Theilstrecken der Hauptleitung und ferner diejenigen der einzelnen Stränge berechnet.

Fall 5. Um alle Fälle, die in der Praxis vorkommen, zu besprechen, möge noch derjenige Erwähnung finden, bei welchem auf dem Dachboden nach zwei Seiten Vertheilung des Wassers und im Kellergeschoss von zwei Seiten eine Sammlung des Wassers stattfindet (Fig. 39). Für diesen Fall muss wieder der Druck bei B von beiden Seiten derselbe sein, d. h. die Differenz zwischen der vom ungünstigsten Strang der rechten Seite der Anlage für Ueberwindung aller Widerstände im Vertheilungs- und Sammelrohr übrig bleibenden wirksamen Druckhöhe (ah) und den Widerstandshöhen bis zum Punkte B, muss gleich sein derselben Differenz auf der linken Seite der Anlage. Werden also zur Abkürzung die sämmtlichen Widerstände der Vertheilungs- und Sammelleitung, vom ungünstigsten Strang gerechnet, der rechten Seite bis B mit $\Sigma(R + \Sigma Z)$, die der linken mit $\Sigma(R_0 + \Sigma Z_0)$ bezeichnet, die Geschwindigkeit in diesen Leitungen mit v bezw. v_0, die wirksamen Druckhöhen ah bezw. ah_0, dann muss sein:

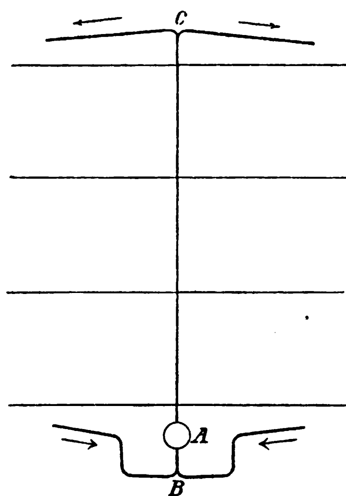


Fig. 39

$$ah - \frac{v^2}{2g}\Sigma(R + \Sigma Z) = ah_0 - \frac{v_0^2}{2g}\Sigma(R_0 + \Sigma Z_0). \qquad (81)$$

Bei ziemlich gleich langen Leitungen von rechts nach links und nicht zu bedeutenden Unterschieden in den rechts und links zu liefernden Wärmemengen kann man $h_0 = h$ setzen und das v_0 (bezw. d_0) berechnen, bei sehr ungleichen Längen dagegen wird man besser

thun, auf der kürzeren Seite (dieselbe werde durch die rechte Seite der Gleichung 81 gekennzeichnet) $v_0 = v$ zu setzen und somit h_0 zu bestimmen.

d) **Berechnung der Rohrweiten für die Ausführung, sofern ein Theil der Rohrleitung Wärme abzugeben hat.**

α) Die Grundgleichungen. Bei Anordnung von besonderen Heizkörpern dienen die Rohrleitungen lediglich zur Leitung des Wassers. Die Geschwindigkeit des Wassers in den Heizkörpern, mithin auch die durch dieselbe bedingten Widerstandshöhen konnten gleich 0 gesetzt, d. h. vernachlässigt werden.

Sofern ein Theil der Rohrleitung Wärme abzugeben hat, also die Stelle eines Heizkörpers einnimmt, können die Bewegungen des Wassers und die Widerstandshöhen nicht unberücksichtigt bleiben.

Die Wärme abgebende Rohrfläche ist gemäss der Gleichung 52 zu setzen:

$$F = \frac{W}{k(t' - t'')} \ln \frac{t' - \vartheta}{t'' - \vartheta},$$

worin bedeutet:

W die stündlich zur Erwärmung des Raumes erforderliche und von der Rohrleitung abzugebende Wärmemenge,

t' die Anfangstemperatur des Wassers,

t'' die Endtemperatur,

ϑ die mittlere Temperatur der die Wärmefläche unmittelbar berührenden Luft,

k den Emissionskoeffizienten.

Bei freiliegenden Röhren kann ϑ zu etwa 5°, bei umgitterten zu etwa 10° höher als Raumtemperatur angenommen werden; k wird man nach Versuchen des Verfassers zu 13 bezw. 12, also zum Theil niedriger als auf Seite 128 angegeben ist, zu setzen haben. Für die Geschwindigkeit des Wassers in der Rohrleitung behalten die im vorigen Abschnitte aufgestellten Gleichungen für die erforderliche und erreichbare Geschwindigkeit naturgemäss auch im vorliegenden Falle Gültigkeit, also bezüglich der erforderlichen Geschwindigkeit gilt die Gleichung wie früher

für Niederdruck-Warmwasserheizung: $v = \frac{W}{10\,000} \frac{1}{275{,}67\, d^2 (t' - t'')}$,

für Mitteldruck-Warmwasserheizung: $v = \frac{W}{10\,000} \frac{1}{267{,}18\, d^2 (t' - t'')}$,

bezüglich der erreichbaren Geschwindigkeit:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(l \frac{\rho}{d} + \Sigma \zeta\right).$$

Die Bedeutung der Buchstaben bleibt dieselbe wie auf S. 156.

Für h ist der Abstand der Mittelebene des Kessels von der Mittelebene der Wärme abgebenden Rohrleitung in Rechnung zu setzen. Zur Lösung der obigen Gleichungen wird wieder auf die Tabellen 12, 13 und 14 verwiesen.

β) Anwendung. Gewöhnlich besteht die Wärme abgebende Heizfläche aus einer gleich weiten, nach Bedarf hin- und hergeführten Rohrleitung, welche bei den Heizkörpern durch eine vor Wärmeabgabe geschützte Rohrleitung mit dem Kessel verbunden ist. Bei grösseren Anlagen macht es sich, um den Einfluss der Widerstände zu verringern, nöthig, die Heizfläche in mehrfache solche Rohrführungen zu zerlegen.

Die Berechnung erfolgt am besten in folgender Weise.

Zunächst bestimme man aus umstehender Gleichung die Wärme abgebende Fläche F und aus dieser nach probeweiser Annahme des äusseren Durchmessers D, die Länge l, d. h. es ist:

$$l = \frac{F}{\pi D}.$$

Aus der berechneten Länge l geht hervor, ob eine gerade Rohrleitung genügt oder ein Hin- und Herführen erforderlich ist. In manchen Fällen wird es auch zweckmässiger sein, l den gegebenen Verhältnissen entsprechend anzunehmen und D zu bestimmen.

Aus dem angenommenen bezw. aus l bestimmten D folgt unmittelbar der lichte Durchmesser d und somit nach Gleichung 66^a bezw. 66^b die erforderliche Geschwindigkeit. Mit Hilfe der Letzteren berechnet sich sodann die zur Ueberwindung aller Widerstände in der Wärme abgebenden Rohrleitung erforderliche wirksame Druckhöhe ah aus Gleichung 67. Zieht man diese von derjenigen wirksamen Druckhöhe ab, welche überhaupt zur Verfügung steht, so bildet der Rest die wirksame Druckhöhe für Bestimmung der Rohrdurchmesser für die Zu- und Ableitungsrohre des Wassers. Die ganze Berechnung bleibt also dieselbe wie früher, nur das zunächst die wirksame Druckhöhe, welche durch die Widerstände im Wärme abgebenden Rohre (Heizkörper) aufgezehrt wird, zunächst von der zur Verfügung stehenden in Abzug gebracht werden muss. — Ergiebt sich die Widerstandshöhe des angenommenen Wärme abgebenden Rohrzugs zu gross, so muss man letzteren, wie bereits erwähnt, in 2 oder mehrere getrennte Rohrzüge zerlegen, also dem Wasser einen kürzeren Weg anweisen.

e) **Beispiele für Berechnung der Rohrweiten für die Ausführung, sofern die Rohrleitung keine Wärme abzugeben hat.** Fig. 40 zeigt die Anordnung.

Gegeben sei: $W_1 = W_1' = W_1'' = W_2 = W_2' = W_2'' = W_3 = W_3' = W_3'' = 4000\ WE,$

für einen jeden senkrechten Strang also:

$$W_1 + W_2 + W_3 = W = W' = W'' = 12\,000 \;\; WE.$$

Temperatur im Zufluss: $t' = 80°$,

„ „ Rückfluss: $t'' = 60°$,

mithin: $t' - t'' = 20°$ und nach Tabelle 12: $a = 0{,}0117$.

Gemäss der Anordnung der Anlage sei: $l_1 = l_1' = l_1''$ (Rohrlänge der 1. Theilstrecke von Strang I ($E1G$) bezw. II bezw. III vom Durchmesser d_1 bezw. d_1' bezw. d_1'') $= 5$ m,

$l_2 = l_2' = l_2'' = 1$ m,
$l_3 = l_3' = l_3'' = 5$ m,
$l_4 = l_5 = l_4' = l_5' = l_4'' = l_5'' = 4$ m.
l (Theilstrecke $CD + GH$ vom Durchmesser d) $= 30$ m,
l' („ $CD' + G'H$ „ „ d') $= 4$ m,
l'' („ $BD'' + G''I$ „ „ d'') $= 4$ m,
L („ $BC + HI$ „ „ D) $= 40$ m,
L' („ IAB „ „ D') $= 35$ m,
$h_1 = h_1' = h_1'' = 3$ m,
$h_2 = h_2' = h_2'' = 7$ m,
$h_3 = h_3' = h_3'' = 11$ m.

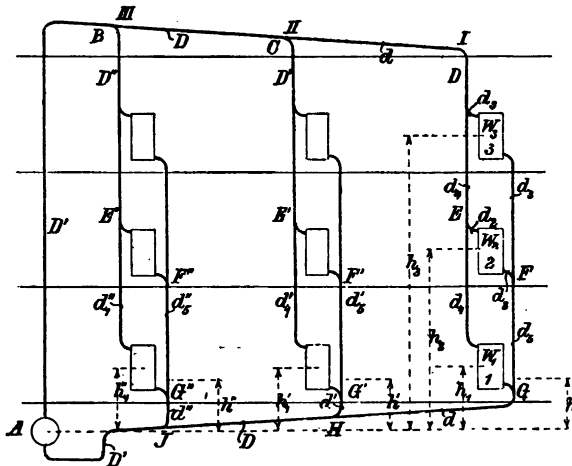


Fig. 40

$\Sigma\zeta_1$ (Summe aller einmaligen Widerstände der ersten Theilstrecke von Strang I) $= 1$ (für 2 Ventile am Heizkörper) $+ 1$ (für Heizkörper) $+ 2$ (für 4 runde Kniee) $= 4$,

$\Sigma\zeta_2$ (zweite Theilstrecke von Strang I) $= 1 + 1 + 2$ (für 2 rechtwinklige Kniee) $= 4$,

$\Sigma\zeta_3$ (dritte Theilstrecke von Strang I) $= 1 + 1 + 2 = 4$,

$\Sigma\zeta_4 = \Sigma\zeta_5$ (vierte bezw. fünfte Theilstrecke von Strang I) $= 0$ (d. h. das Rohr habe keine Bogen etc.),

$\Sigma\zeta$ (letzte Theilstrecke von Strang I, Durchmesser d) $= 3$ (für 6 Bogen).

Für Strang II und III sollen dieselben einmaligen Widerstände vorhanden sein.

ΣZ (Theilstrecke $BC+JH$) $= 5$ (für 10 Bogen),

$\Sigma Z'$ („ JAB) $= 6$ („ 12 „).

Die Stränge I, II und III hat man sich gemäss Fig. 35 zerlegt zu denken, und sind für die Rechnung statt der obigen Werthe von l_1, l_1', l_1'', l_2 . . . . einzuführen:

$$l_1 = l_1' = l_1'' = 5 + 4 = 9 \text{ m}, \quad l_2 = l_2' = l_2'' = 1 + 4 + 4 = 9 \text{ m},$$
$$l_3 = l_3' = l_3'' = 5 + 4 = 9 \text{ m}.$$

Beispiel 1. Die Geschwindigkeit des Wassers in der Strecke *GHJABCD* sei durchweg gleich gross und gleich v, d. h. gleich der Geschwindigkeit in der letzten Theilstrecke $(CD + GH)$ des Stranges I.

Lösung der Aufgabe.

A. **Die wirksamen Druckhöhen** ah' **und** ah'' **seien** $= ah$.

a) **Bestimmung der Höhe** h. Die Berechnung hat bei derjenigen Theilstrecke zu erfolgen, zu welcher der am ungünstigsten, also bezüglich des Kessels in wagerechter Richtung am entferntesten, in senkrechter Richtung am nächsten gelegene Heizkörper gehört — mithin mit der ersten Theilstrecke $(E1G)$ des Stranges I. Für diese Theilstrecke wird der Durchmesser (d_1) angenommen. Die zu diesem Zwecke früher mitgetheilte Erfahrungsgleichung ergiebt: $d_1 = 0{,}00052 \sqrt{4000} = 0{,}0329$, was auf das Handelsmass von 0,032 m herabzusetzen oder auf 0,038 m zu erhöhen ist. Es möge $d_1 = 0{,}032$ m gesetzt werden. Mit Hilfe dieser Annahme ist die für die Strecke *GHJABCD* wirksame Druckhöhe ah, und zwar wie folgt, zu ermitteln.

Für d_1 gelten Gleichungen 68[a] und 68[b], welche lauten:

$$v_1 = \frac{W_1}{10\,000} \, \frac{1}{275{,}67\, d_1^2 (t' - t'')}$$

und

$$a\,(h_1 - h) = \frac{v_1^2}{2g}\left(l_1 \frac{\rho_1}{d_1} + \Sigma \zeta_1\right).$$

Es ist nun:

$$W_1 = 4000, \quad t' - t'' = 20, \quad a = 0{,}0117, \quad h_1 = 3, \quad l_1 = 9, \quad \Sigma\zeta_1 = 4.$$

Für $d_1 = 0{,}032$ ergiebt Tabelle 13 den Werth von

$$\frac{1}{275{,}67\, d_1^2 (t' - t'')} \text{ zu } 0{,}177,$$

mithin ist:

$$v_1 = \frac{4000}{10\,000}\, 0{,}177 = 0{,}0708 \text{ m}.$$

Aus Tabelle 14 ergiebt sich für $v_1 = 0{,}07$ m und $d_1 = 0{,}032$ m:

$$\frac{v_1^2}{2g} = 0{,}00025, \quad \frac{\rho_1}{d_1} = 1{,}569,$$

also muss sein:

$$0{,}0117\,(3 - h) = 0{,}00025\,(9 \cdot 1{,}569 + 4),$$

daraus folgt:

$$h = 2{,}613 \text{ m}.$$

b) **Bestimmung der Hauptzufluss- und Rückflussleitung, also der Strecke** $GHJABCD$, d. h. der Durchmesser d, D und D'.

Da die Geschwindigkeit in dieser Strecke gleich gross und gleich derjenigen im Zu- und Rücklauf $(CD + GH)$ von Strang I sein soll, so gilt Gleichung 75, welche lautet:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l + \frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'}} + \frac{L'\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'+W''}}\right) + \Sigma\zeta + \Sigma Z + \Sigma Z'\right\}.$$

Es ist nun:

$W = 12\,000$, $W + W' = 24\,000$, $W + W' + W'' = 36\,000$,
$ah = 0{,}0117 \cdot 2{,}613 = 0{,}03057$,
$l = 30$, $L = 40$, $L' = 35$,
$\Sigma\zeta = 3$, $\Sigma Z = 5$, $\Sigma Z = 6$.

Die Werthe eingesetzt, giebt:

$$0{,}03057 = \frac{v^2}{2g}\left(78{,}5\,\frac{\rho}{d} + 14\right).$$

Zu dieser Gleichung tritt noch, wie immer, diejenige für die erforderliche Geschwindigkeit in d hinzu:

$$v = \frac{W}{10\,000}\,\frac{1}{275{,}67\,d^2(t' - t'')}.$$

Man wählt nun d probeweise und so oft, bis den zwei Gleichungen Genüge geschieht.

Es sei d probeweise $= 0{,}051$, alsdann ergiebt sich aus Tabelle 13 der Werth von

$$\frac{1}{275{,}67\,d^2(t' - t'')} \text{ zu } 0{,}07,$$

mithin ist:

$$v = \frac{12\,000}{10\,000}\,0{,}07 = 0{,}084 \text{ m}.$$

Aus Tabelle 14 ergiebt sich für $v = 0{,}084$ und $d = 0{,}051$:

$$\frac{v^2}{2g} = 0{,}000367, \quad \frac{\rho}{d} = 0{,}92,$$

also müsste nun: $0{,}03057 = 0{,}000367\,(78{,}5 \cdot 0{,}92 + 14)$ sein, es ist aber: $0{,}03057 < 0{,}0316$, so dass die wirksame Druckhöhe also etwas zu klein ist, d. h. der Durchmesser d muss etwas grösser gewählt werden.

Wählt man $d = 0{,}052$ m, so ergiebt sich nach Tabelle 13:

$$v = 0{,}0804 \text{ m},$$

nach Tabelle 14:

$$\frac{v^2}{2g} = 0{,}000326, \quad \frac{\rho}{d} = 0{,}921$$

und endlich:

$$0{,}03057 > 0{,}0281.$$

Es ist also $d = 0{,}052$ zu gross, $d = 0{,}051$ ein klein wenig zu klein, die Abweichung von der Wirklichkeit ist indess so gering, dass — da 0,051 Handelsmass ist — dies ohne Bedenken beibehalten werden kann.

Es ist also $d = 0{,}051$ m.

Nun bestimmen sich D und D' nach Gleichung 73 und 74 zu:

$$D = \frac{d\sqrt{24\,000}}{\sqrt{12\,000}} = 0{,}051 \cdot 1{,}4142 = 0{,}072 \text{ m},$$

$$D' = \frac{d\sqrt{36\,000}}{\sqrt{12\,000}} = 0{,}051 \cdot 1{,}732 = 0{,}088 \text{ m}.$$

c) **Bestimmung der Rohrdurchmesser von Strang I.**

Erste Theilstrecke ($E1G$).

d_1 war bereits zur Bestimmung von h zu 0,032 m angenommen.

Zweite Theilstrecke ($E2F$).

d_2 sei probeweise 0,019 m.

Bekannt ist:

$$W_2 = 4000, \quad l_2 = 9, \quad \Sigma\zeta_2 = 4, \quad h = 2{,}613, \quad h_2 = 7, \quad a = 0{,}0117,$$
$$\text{also } a\,(h_2 - h) = 0{,}0513.$$

Es müssen nun die Gleichungen 69[a] und 69[b] Anwendung finden, welche lauten:

$$v_2 = \frac{W_2}{10\,000}\,\frac{1}{275{,}67\, d_2^{\,2}\,(t' - t'')}$$

und

$$a\,(h_2 - h) = \frac{v_2^{\,2}}{2g}\left(l_2 \frac{\rho_2}{d_2} + \Sigma\zeta_2\right).$$

Mit Hilfe von Tabelle 13 ergiebt sich bei Annahme von $d_2 = 0{,}019$ m

$$v_2 = \frac{4000}{10\,000}\,0{,}502 = 0{,}2 \text{ m}.$$

Aus Tabelle 14 findet man alsdann:

$$\frac{v_2^2}{2g} = 0{,}00204, \quad \frac{\rho_2}{d_2} = 1{,}872,$$

also soll sein: $0{,}0513 = 0{,}00204\,(9 \cdot 1{,}872 + 4)$, es besteht indess nicht Gleichheit, sondern es ist: $0{,}0513 > 0{,}0425$, d_2 kann somit etwas kleiner sein; wählt man $d_2 = 0{,}018$ m, dann ergiebt sich nach gleicher Rechnung:

$$0{,}0513 < 0{,}0547,$$

mithin ist $d_2 = 0{,}019$ m beizubehalten.

Dritte Theilstrecke ($D3F$).

d_3 sei probeweise 0,016 m.

Bekannt ist:

$$W_3 = 4000, \quad l_3 = 9, \quad \Sigma\zeta_3 = 4, \quad h = 2{,}613, \quad h_3 = 11, \quad a = 0{,}0117,$$
$$\text{also: } a(h_3 - h) = 0{,}098.$$

Genau in derselben Weise wie vorher bestimmt sich aus Tabelle 13:

$$v_3 = 0{,}284 \text{ m}, \quad \text{aus Tabelle 14:}$$
$$\frac{v_3^2}{2g} = 0{,}004141, \quad \frac{\rho_3}{d_3} = 2{,}006,$$

also soll sein: $0{,}098 = 0{,}004141\,(9 \cdot 2{,}006 + 4)$, es ist aber:

$$0{,}098 > 0{,}091.$$

Der Unterschied ist indess so gering, dass $d_3 = 0{,}016$ m beizubehalten ist.

Vierte und fünfte Theilstrecke (DE und FG).

Es ist nach Gleichung 71[a] und 71[b]:

$$d_4 = \sqrt{0{,}032^2 + 0{,}019^2} = 0{,}0372 \text{ m},$$
$$d_5 = \sqrt{0{,}019^2 + 0{,}016^2} = 0{,}0248 \text{ m}.$$

Letzte Theilstrecke ($CD + GH$).

Der Durchmesser d ist bereits zu $d = 0{,}051$ m bestimmt worden.

d) **Bestimmung der Rohrdurchmesser von Strang II.** Für Strang II ist zunächst h' zu wählen oder zu berechnen. Nach der eingangs gemachten Bedingung soll $h' = h$ sein, also $h' = 2{,}613$ m, in Folge dessen werden alle Durchmesser bis auf den von d' die gleichen, wie bei Strang I, da überall dieselben Werthe gegeben sind.

Für Bestimmung von d' findet Gleichung 77 Anwendung, dieselbe lautet, da $h' = h$ ist:

$$\frac{v^2}{2g}\left(l\,\frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right) = \frac{v'^2}{2g}\left(l'\,\frac{\rho'}{d'} + \Sigma\zeta'\right),$$

ausserdem natürlich für die erforderliche Geschwindigkeit: Gleichung 66[a].

Es ist nun nach früherem:

$$\frac{v^2}{2g}\left(l\frac{\rho}{d}+\Sigma\zeta\right)=0{,}000367\,(30\cdot 0{,}92+3)=0{,}011,$$

ferner:

$$W'=12\,000,\quad l'=4,\quad \Sigma\zeta'=3.$$

Wird versuchsweise $d'=0{,}038$ m gesetzt, so ist nach Tabelle 13:

$$v'=\frac{12\,000}{10\,000}\,0{,}126=0{,}15\text{ m}$$

und nach Tabelle 14:

$$\frac{v'^2}{2g}=0{,}00115,\quad \frac{\rho'}{d'}=1{,}022,$$

mithin müsste sein: $0{,}011=0{,}00115\,(4\cdot 1{,}022+3)$, was jedoch nicht zutrifft, da: $0{,}011>0{,}0082$ ist.

d' kann somit etwas kleiner sein, und zwar findet nahezu Gleichheit statt, sofern $d'=0{,}036$ m gesetzt wird.

e) **Bestimmung der Rohrdurchmesser von Strang III.** Strang III ist genau wie Strang II zu behandeln, alle Durchmesser sind, da dieselben Werthe angenommen wurden, die gleichen wie bei Strang I, nur d'' ist unbekannt, da $h''=h$ sein soll.

Es findet dann Gleichung 78[b] Anwendung, für welche, da $h''=h$, lautet:

$$\frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l+\frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'}}\right)+\Sigma\zeta+\Sigma Z\right\}=\frac{v''^2}{2g}\left(l''\frac{\rho''}{d''}+\Sigma\zeta''\right),$$

ausserdem wieder:

$$v''=\frac{W''}{10\,000}\,\frac{1}{275{,}67\,d''^2(t'-t')}.$$

Es ist nun:

$$\frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l+\frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W+W'}}\right)+\Sigma\zeta+\Sigma Z\right\}=$$

$$=0{,}000367\left\{0{,}92\left(30+\frac{40\sqrt{12\,000}}{\sqrt{24\,000}}\right)+3+5\right\}=0{,}0226,$$

ferner:

$$W''=12\,000,\quad l''=4,\quad \Sigma\zeta''=3.$$

Wird d'' versuchsweise 0,030 m gesetzt, dann ist nach Tabelle 13:

$$v''=\frac{12\,000}{10\,000}\,0{,}202=0{,}2424\text{ m},$$

nach Tabelle 14:

$$\frac{v''^2}{2g} = 0{,}002938, \quad \frac{\rho''}{d''} = 1{,}123,$$

mithin soll sein:

$$0{,}0226 = 0{,}002938\,(4 \cdot 1{,}123 + 3).$$

Es ist dies allerdings nicht genau der Fall, da die rechte Seite der Gleichung 0,02201 ergiebt. d'' könnte mithin etwas kleiner sein, da aber für 0,029 m die wirksame Druckhöhe 0,0226 zu gering ist, muss $d'' = 0{,}030$ m beibehalten werden.

B. **Die wirksamen Druckhöhen ah, ah', ah'' seien einander nicht gleich, dagegen sei $d = d' = d''$.**

Die Ermittelung von h, sowie die Bestimmung der Durchmesser der Theilstrecken von Strang I, sowie der Hauptleitung bleiben genau dieselben wie früher.

Es ist also $D = 0{,}072$ m, $D' = 0{,}088$ m, $d_1 = 0{,}032$ m,
$d_2 = 0{,}019$ m, $d_3 = 0{,}016$ m, $d_4 = 0{,}0371$ m,
$d_5 = 0{,}0248$ m, $d = 0{,}051$ m, $h = 2{,}613$ m.

a) **Bestimmung der Rohrdurchmesser von Strang II.**

d' soll $= d = 0{,}051$ m sein, also muss h' gesucht werden.

Für Punkt H hat die Gleichung 77 Gültigkeit, welche lautet:

$$ah - \frac{v^2}{2g}\left(l\,\frac{\rho}{d} + \Sigma\zeta\right) = ah' - \frac{v'^2}{2g}\left(l'\,\frac{\rho'}{d'} + \Sigma\zeta'\right).$$

Da $d' = d = 0{,}051$ sein soll, und dieselbe Wassermenge durch d' als durch d fliesst, so ist auch $v' = v$ und somit $\rho' = \rho$ und alsdann nach Einsetzung der bekannten Werthe:

$$0{,}0117 \cdot 2{,}613 - 0{,}000367\,(30 \cdot 0{,}92 + 3) = 0{,}0117\,h' - 0{,}000367\,(4 \cdot 0{,}92 + 3),$$

woraus folgt:

$$h' = 1{,}88 \text{ m}.$$

Zur Berechnung der übrigen Theilstrecken wird nun genau wie unter A bei Strang I verfahren und ergiebt sich:

$d_1' = 0{,}026$ m,
$d_2' = 0{,}018$ m,
$d_3' = 0{,}016$ m,
$d_4' = 0{,}0316$ m,
$d_5' = 0{,}0241$ m.

b) **Bestimmung der Rohrdurchmesser von Strang III.** Für Strang III ist zunächst wieder h'' auszurechnen; es muss für Punkt J die Gleichung 78[b] Gültigkeit haben, welche lautet:

$$ah - \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l + \frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W + W'}}\right) + \Sigma\zeta + \Sigma Z\right\} = ah'' - \frac{v''^2}{2g}\left(l''\,\frac{\rho''}{d''} + \Sigma\zeta''\right).$$

Da $d'' = d = 0{,}051$ m sein soll, mithin für dieses Beispiel $v'' = v$ und $\rho'' = \rho$ ist, so ergiebt die Gleichung, da die linke Seite (bereits früher ausgerechnet) $= 0{,}0306 - 0{,}0226 = 0{,}008$ ist:

$$0{,}008 = 0{,}0117\, h'' - 0{,}000367\, (4 \cdot 0{,}92 + 3),$$

woraus folgt:

$$h'' = 0{,}893 \text{ m}.$$

Für die übrigen Theilstrecken bestimmt sich alsdann:

$$d_1'' = 0{,}022 \text{ m},$$
$$d_2'' = 0{,}018 \text{ m},$$
$$d_3'' = 0{,}016 \text{ m},$$
$$d_4'' = 0{,}0284 \text{ m},$$
$$d_5'' = 0{,}0241 \text{ m}.$$

Beispiel 2. Die Grösse der Heizkörper, sowie deren Anordnung sei dieselbe wie im Beispiel 1, nur soll das Vertheilungsrohr unter der Kellerdecke liegen (s. Fig. 41).

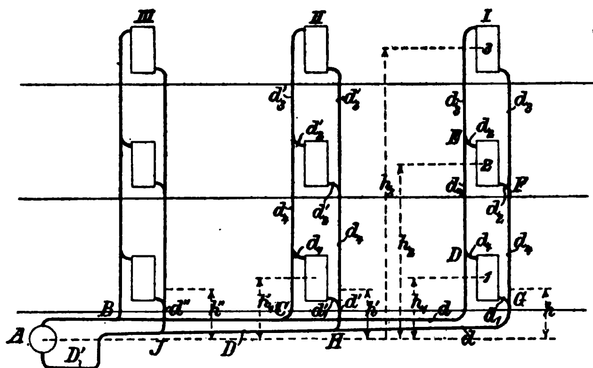


Fig. 41

Es ändern sich mithin die Längen einiger Theilstrecken, und zwar diejenigen für die untersten und obersten Heizkörper, sowie diejenige des Steigerohrs.

Es sei:

$$l_1 \text{ (Theilstrecke } D1G) = l_1' = l_1'' = 1 \text{ m},$$
$$l_3 \text{ („ } E3F) = l_3' = l_3'' = 9 \text{ m},$$
$$L' \text{ („ } JAB) = 22 \text{ m},$$

alle übrigen Werthe bleiben unverändert.

Lösung der Aufgabe. Behufs Berechnung der Durchmesser hat man sich zunächst die Stränge I, II und III gemäss Fig. 35 zerlegt zu denken und für die Längen der Theilstrecken einzuführen:

$$l_1 = l_1' = l_1'' = 1\,\text{m},\quad l_2 = l_2' = l_2'' = 4 + 1 + 4 = 9\,\text{m},$$
$$l_3 = l_3' = l_3'' = 9 + 4 + 4 = 17\,\text{m},$$

die Rechnung ist wie früher zu behandeln, nur kommt d_5, d_5' und d_5'' in Wegfall.

Setzt man, wie im Beispiel 1a die Geschwindigkeit des Wassers in der Strecke *GHJABCD* gleich gross und gleich der Geschwindigkeit (v) in der letzten Theilstrecke des Strangs I ($CD + GH$) und die wirksamen Druckhöhen $ah = ah' = ah''$, dann ergiebt sich, wenn d_1 wieder mit 0,032 m angenommen wird: $h = 2{,}881$ m.

Es bestimmt sich alsdann für die Hauptleitung

$$D = 0{,}0693\text{ m},$$
$$D' = 0{,}0849\text{ m}.$$

Strang I.

d_1 (wie angenommen) $= 0{,}032$ m,
$d_2 = 0{,}019$ m,
$d_3 = 0{,}018$ m,
$d_4 = 0{,}037$ m,
$d = 0{,}049$ m.

Strang II.

$d' = 0{,}034$ m,
d_1', d_2', d_3' und d_4' wie bei Strang I.

Strang III.

$d'' = 0{,}029$ m,
d_1'', d_2'', d_3'' und d_4'' wie bei Strang I.

Beispiel 3. Die Anlage ist durch Fig. 42 gekennzeichnet, sie zerfällt, vom Kessel aus gerechnet, in eine rechte und eine linke Seite, von welcher die erste mit der früheren und in Fig. 40 gegebenen Anlage übereinstimmt.

Die linke Seite hat nur 2 Stränge (IV und V) mit je 3 Heizkörpern, von denen jeder, wie auf der rechten Seite, 4000 *WE* stündlich abzugeben hat.

Die Rohrlängen und die Entfernungen der Stränge IV und V vom Kessel, die Widerstände u. s. w. sind mit denjenigen der Stränge III bezw. II übereinstimmend.

In der Berechnung der rechten Seite der Anlage tritt gegen früher nur insofern ein Unterschied ein, als jetzt eine Verkleinerung der früheren Theilstrecke *JAB* auf $JK + BC$ stattfindet, dafür aber die den beiden Seiten gemeinsame Theilstrecke *KAB* hinzutritt.

Lösung der Aufgabe. Der Ausgang der Rechnung hat von dem ungünstigsten Heizkörper der ungünstigsten — also in diesem Fall von der rechten — Seite zu erfolgen.

Der Durchmesser der Theilstrecke $JK + BC$ werde wie früher mit D', die Länge derselben mit L', die Summe der einmaligen Widerstände mit $\Sigma Z'$ u. s. w. bezeichnet, die entsprechenden Werthe der Theilstrecke KAB seien D'', L'', $\Sigma Z''$, diejenigen der Theilstrecke $LM + NO$ auf der linken Seite d_0, l_0, $\Sigma\zeta_0$, diejenigen der Theilstrecke $KL + OB$ dagegen D_0, L_0, ΣZ_0.

Es soll nun sein:

$$L' = L_0 = 20 \text{ m}, \quad \Sigma Z' = \Sigma Z_0 = 4 \text{ m},$$
$$L'' = 15 \text{ m}, \ \Sigma Z'' = 2 \text{ m}, \ l_0 = 40 \text{ m}, \ \Sigma\zeta_0 = 5 \text{ m},$$

alle übrigen Werthe wie früher.

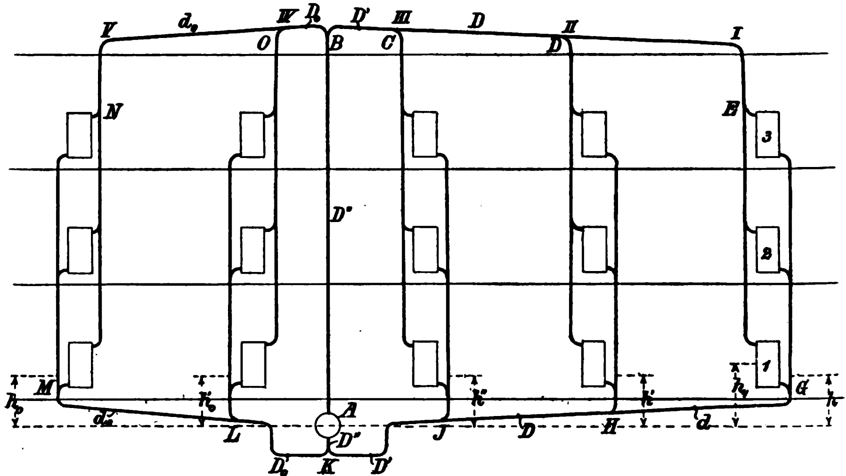


Fig. 42

Bestimmung der Hauptzufluss- und Rückflussleitung. Sofern — wie im Beispiel 1 — die Geschwindigkeit des Wassers in der Strecke $GHJKABCDE$ dieselbe und gleich derjenigen (v) in der Theilstrecke $DE + GH$ des Stranges I sein soll, dann gilt die Gleichung, welche gemäss Gleichung 75 sofort aufzustellen ist:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l + \frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W + W'}} + \frac{L'\sqrt{W}}{\sqrt{W + W' + W''}} + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \frac{L''\sqrt{W}}{\sqrt{W + W' + W'' + W_0 + W_0'}}\right) + \Sigma\zeta + \Sigma Z + \Sigma Z' + \Sigma Z''\right\},$$

sofern W_0 und W_0' die Wärmemengen von Strang V bezw. IV bezeichnen.

Aus dieser Gleichung berechnet sich wie früher das d bezw. v, und ist alsdann:

$$D = \frac{d\sqrt{W + W'}}{\sqrt{W}}, \quad D' = \frac{d\sqrt{W + W' + W''}}{\sqrt{W}},$$

$$D'' = \frac{d\sqrt{W + W' + W'' + W_0 + W_0'}}{\sqrt{W}}.$$

Setzt man in diese Gleichungen die entsprechenden Werthe ein, dann ergiebt sich, da h im Beispiel 1 zu 2,613 m berechnet war:

$$0{,}0117 \cdot 2{,}613 = \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(30 + \frac{40\sqrt{12000}}{\sqrt{24000}} + \frac{20\sqrt{12000}}{\sqrt{36000}} + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{15\sqrt{12000}}{\sqrt{60000}}\right) + 3 + 5 + 4 + 2\right\},$$

woraus folgt:

$$d = 0{,}051 \text{ m}.$$

Es ist alsdann:

$$D = 0{,}072 \text{ m}, \quad D' = 0{,}088 \text{ m}, \quad D'' = 0{,}114 \text{ m}.$$

Für die linke Seite hat nun bezüglich der Strecke $KLM + NOB$, da in K wieder von den beiden zusammenkommenden Wasserläufen gleicher Druck ausgeübt werden muss, die Gleichung 81 Gültigkeit:

$$ah_0 - \frac{v_0^2}{2g}\left\{\frac{\rho_0}{d_0}\left(l_0 + \frac{L_0\sqrt{W_0}}{\sqrt{W_0 + W_0'}}\right) + \Sigma\zeta_0 + \Sigma Z_0\right\} =$$

$$= ah - \frac{v^2}{2g}\left\{\frac{\rho}{d}\left(l + \frac{L\sqrt{W}}{\sqrt{W + W'}} + \frac{L'\sqrt{W}}{\sqrt{W + W' + W''}}\right) + \Sigma\zeta + \Sigma Z + \Sigma Z'\right\},$$

sofern in der Strecke $KLM + NOB$ ein und dieselbe Geschwindigkeit (v_0) des Wassers herrschen soll. In dieser Gleichung kann man nun entweder v_0 bezw. d_0 annehmen (beispielsweise kann man $v_0 = v$ setzen), und muss alsdann ah_0 bestimmen und unter Beibehaltung derselben die Theilstrecken des Stranges V bestimmen oder kann ah_0 annehmen und v_0 und d_0 ermitteln.

Setzt man $v_0 = v$, so ist:

$$d_0 = \frac{d\sqrt{W_0}}{\sqrt{W}},$$

oder, da in diesem Beispiel $W_0 = W$ ist:

$$d_0 = d = 0{,}051 \text{ m, ferner}$$

$$D_0 = d\frac{\sqrt{W_0 + W_0'}}{\sqrt{W}} = 0{,}051\ \sqrt{2} = 0{,}072 \text{ m.}$$

Nach Einsetzung von v_0, d_0 und der anderen bekannten Werthe erhält man:

$$ah_0 - 0{,}000367\left\{0{,}92\,(40 + 14{,}14) + 5 + 4\right\} = 0{,}0117 \cdot 2{,}613 - $$
$$- 0{,}000367\left\{0{,}92\,(30 + 28{,}3 + 11{,}5) + 3 + 5 + 4\right\}$$

oder: $ah_0 = 0{,}0242$, also $h_0 = 2{,}07$ m.

Setzt man dagegen: $ah_0 = ah$, alsdann ergiebt die Gleichung:

$$\frac{v_0^2}{2g}\left\{\frac{\rho_0}{d_0}(40 + 14{,}14) + 5 + 4\right\} = 0{,}028,$$

welche erfüllt wird, sofern man $d_0 = 0{,}048$ m annimmt.

Es berechnet sich dann:

$$D_0 = \frac{d_0\sqrt{W_0 + W_0'}}{W_0} = \frac{0{,}048\sqrt{24\,000}}{\sqrt{12\,000}} = 0{,}068.$$

Im übrigen ist Neues für die Berechnung aller übrigen Theilstrecken nicht hinzuzufügen.

f) **Beispiele zur Berechnung der Rohrweiten für die Ausführung, sofern ein Theil der Rohrleitung Wärme abzugeben hat.**

Beispiel 1. Ein Gewächshaus von 12 m Länge und 6 m Breite mit Doppelglas gedeckt, erfordere im ungünstigsten Falle 11 000 *WE* stündlich. Die Temperatur im Gewächshause soll 15°, die höchste Temperatur im Steigerohr 80°, im Rücklaufrohr 60° betragen. Eine Längsseite des Gewächshauses steht zur Anordnung der nicht zu vergitternden Rohrleitung, welche aus Kupfer hergestellt werden soll, zur Verfügung. Die Mittelebene des Kessels liegt 2,3 m tiefer als die Mittelebene für die Wärme abgebende Rohrleitung.

Lösung der Aufgabe. Die Wärme abgebende Fläche ist, wenn $k = 13$ gesetzt wird (s. S. 167):

$$F = \frac{11\,000}{13\,(80 - 60)}\, ln\, \frac{80 - (15 + 5)}{60 - (15 + 5)} = 17{,}15 \text{ qm.}$$

Wählt man probeweise $D = 0{,}079$ m, so ergiebt sich die Länge der Rohrleitung:

$$l = \frac{17{,}15}{0{,}079 \cdot \pi} = 69{,}14 \text{ m.}$$

Da die grösste Länge, welche an der einen Seite des Gewächshauses zur Unterbringung der Röhren dienen soll, mit höchstens 12 m

in Ansatz zu bringen ist, muss der Rohrzug 5 mal gebrochen, d. h. 3 mal hin- und hergeleitet werden, es liegen also entweder 6, oder 2×3 Röhren übereinander. Ersteres angenommen zeigt Fig. 43 die Anordnung.

Im ganzen sind 2 Theilstrecken vorhanden. Theilstrecke 1: *BCD*, Theilstrecke 2: *DAB*, h ist 2,3 m, a (nach Tabelle 12) für 80 und $60° = 0{,}0117$ also $ah = 0{,}027$ m.

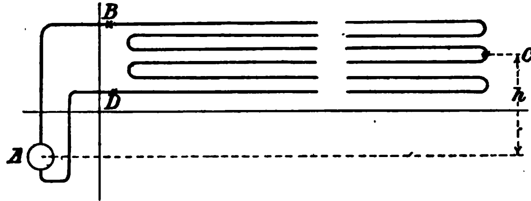


Fig. 43

Theilstrecke 1: *BCD* (Wärme abgebende Rohrleitung). Der lichte Durchmesser d ergiebt sich bei 2 mm starker Wandung zu 0,075 m und somit ist die erforderliche Geschwindigkeit nach Gleichung 66[a] und mit Hilfe von Tabelle 13 berechnet:

$$v_1 = \frac{11\,000}{10\,000} \cdot \frac{1}{275{,}67 \cdot 0{,}075^2 (80 - 60)} = 0{,}03542 \text{ m.}$$

Diese Geschwindigkeit in Gleichung 67 eingesetzt, findet sich die erforderliche wirksame Druckhöhe (ah), unter Benutzung von Tabelle 14 zu:

$$0{,}000061\,(69{,}14 \cdot 0{,}866 + 4) = 0{,}00390,$$

sofern $\Sigma\zeta_1$ aus den einmaligen Widerständen in der Leitung zu 4 bestimmt worden ist.

Die zur Verfügung stehende Druckhöhe ist $ah = 0{,}027$ m, somit bleibt zur Berechnung des Leitungsrohres von bezw. nach dem Kessel eine wirksame Druckhöhe übrig von:

$$0{,}027 - 0{,}00390 = 0{,}0231 \text{ m.}$$

Theilstrecke 2: *DAB* (Leitungsrohr).

Das Leitungsrohr möge eine Länge von 12 m erfordern und für die einmaligen Widerstände $(\Sigma\zeta_2)$ soll sich die Zahl 4,5 ergeben.

Wählt man probeweise einen Durchmesser für das Leitungsrohr von 0,032 m, so ergiebt sich die erforderliche Geschwindigkeit:

$$v_2 = \frac{11\,000}{10\,000} \cdot \frac{1}{275{,}67 \cdot 0{,}032^2 (80 - 60)} = 0{,}1947 \text{ m,}$$

mithin muss sein:

$$0{,}0231 = 0{,}001938\,(12 \cdot 1{,}119 + 4{,}5),$$

welchem Ausdruck nicht ganz genügt wird, da

$$0{,}0231 < 0{,}0347 \text{ ist.}$$

Der Durchmesser von 0,032 m kann indessen beibehalten werden, da der Unterschied nur ein sehr geringer ist.

Beispiel 2. Die Aufgabe möge dieselbe bleiben, nur soll (aus irgend welchen Gründen) vorgeschrieben werden, 0,051 m im Lichten weites Kupferrohr zu verwenden.

Lösung der Aufgabe. Es ist wie in Beispiel 1:

$F = 17{,}15$ qm, dagegen, da D (bei 2 mm Wandstärke des Rohres) $= 0{,}055$ m wird, $l = \frac{17{,}15}{0{,}055 \cdot \pi} = 99{,}3$ m.

Es müsste also der Rohrzug 5 mal hin- und hergeführt werden.

Für Theilstrecke 1 ergiebt sich alsdann die erforderliche Geschwindigkeit:

$$v_1 = \frac{11\,000}{10\,000} \frac{1}{275{,}67 \cdot 0{,}051^2 \,(80 - 60)} = 0{,}077 \text{ m}$$

und die erforderliche wirksame Druckhöhe zur Ueberwindung der Widerstände im Wärme abgebenden Rohre, wenn $\Sigma\zeta_1 = 7{,}2$ ist, gemäss Gleichung 67

$$0{,}000286\,(99{,}3 \cdot 0{,}961 + 7{,}2) = 0{,}0294 \text{ m.}$$

Da nur 0,027 m wirksame Druckhöhe überhaupt zur Verfügung steht, muss die Rohrlänge von 99,3 m in 2 Rohrzüge zu je 49,65 m zerlegt werden. Nimmt man 2 Rohrzüge mit je 6 Röhren an, so wird jeder Rohrzug 8,3 m horizontale Ausdehnung erhalten.

Für jeden Rohrzug ist nun $\frac{W}{2}$ in Rechnung zu stellen; es ist dann für Theilstrecke 1:

$$v_1 = \frac{5500}{10\,000} \cdot \frac{1}{275{,}67 \cdot 0{,}051^2 \,(80 - 60)} = 0{,}0385 \text{ m}$$

und somit die erforderliche wirksame Druckhöhe zur Ueberwindung der Widerstände in einem Rohrzug:

$$0{,}000061\,(49{,}65 \cdot 1{,}275 + 4) = 0{,}00411 \text{ m.}$$

Für Theilstrecke 2 bleibt eine wirksame Druckhöhe von

$$0{,}027 - 0{,}00411 = 0{,}02289 \text{ m}$$

übrig.

Da nunmehr ein 0,032 m weites Leitungsrohr zu eng ist, indem nach Beispiel 1 für dasselbe die erforderliche wirksame Druckhöhe 0,0347 sein müsste, jetzt aber nur 0,02289 m ist, wird ein Leitungsrohr von 0,038 m Durchmesser erforderlich.

Die erforderliche Geschwindigkeit ist dann:

$$v_2 = \frac{11000}{10000} \frac{1}{275,67 \cdot 0,038^2 (80 - 60)} = 0,1386 \text{ m},$$

also die erforderliche wirksame Druckhöhe, wenn jetzt $\Sigma\zeta_2 = 5$ ist, wird:

$$0,001 (12 \cdot 1,045 + 5) = 0,01754 \text{ m}$$
$$\text{also} < 0,02289.$$

Beispiel 3. Statt des in Beispiel 1 auf Seite 170 bei Strang I, dritte Theilstrecke angenommenen Heizkörpers soll eine entsprechend lange, 0,051 m im Lichten weite, vergitterte eiserne Rohrleitung angenommen werden. Statt $h_3 = 11$ m ist alsdann $h_3 = 10$ m zu setzen, alles übrige bleibt unverändert.

Lösung der Aufgabe. Setzt man in diesem Fall $k = 12$, so ergiebt sich die Fläche der Wärme abgebenden Rohrleitung (s. S. 167):

$$F = \frac{4000}{12 (80 - 60)} \, ln \, \frac{80 - (20 + 10)}{60 - (20 + 10)} = 8,51 \text{ qm}.$$

Da die Rohrleitung einen Durchmesser von 0,051 m im Lichten haben soll, ist die Länge derselben:

$$l' = \frac{8,51}{0,051 \cdot \pi} = 53,1 \text{ m}.$$

Die erforderliche Geschwindigkeit in der Rohrleitung muss sein:

$$v' = \frac{4000}{10000} \cdot 0,07 = 0,028 \text{ m}$$

und die wirksame Druckhöhe zur Ueberwindung der in der Rohrleitung auftretenden Widerstände, wenn $\Sigma\zeta'$ mit 6 bestimmt worden ist:

$$0,000046 (53,1 \cdot 1,355 + 6) = 0,00359 \text{ m}.$$

Da im vorliegenden Fall $h_3 = 10$ m ist, also: $a (h_3 - h) = 0,08643$ m, so verbleibt für die Theilstrecke 3 (Zu- und Ableitung zum Wärme abgebenden Rohr) an wirksamer Druckhöhe:

$$0,08643 - 0,00359 = 0,08284 \text{ m}.$$

Es soll, da in dem angezogenen Beispiel (s. S. 173) $d_3 = 0,016$ m, $v_3 = 0,284$ m war, sein:

$$0,08284 = 0,091,$$

da dieses nicht der Fall, muss jetzt d_3 statt zu 0,016 m zu 0,019 m angenommen werden.

4. **Ausdehnungsgefäss.** Ueber dem höchsten Punkte der Anlage befindet sich das Ausdehnungsgefäss und ist mit diesem verbunden.

Bei Niederdruck stellt das Gefäss ein einfaches kleines Reservoir dar, welches etwa 10 bis 15 cm vom Boden mit der Anlage durch ein etwa 0,025 bis 0,038 m weites Rohr (je nach Grösse der Anlage) zu verbinden ist. Ungefähr 25 cm vom Boden zweigt ein Rohr — in seiner Fortsetzung am besten ein Kupferrohr von 19 mm Weite — ab, welches nach dem Heizerstand führt und daselbst durch einen Hahn zu verschliessen ist. Bis zu diesem Rohr — Signalrohr — hat das Wasser im kalten Zustande der Anlage zu stehen, was der Heizer bei Oeffnen der Speiseleitung erkennen kann. Von der Einmündung des Signalrohres ab ist die weitere Höhe des Gefässes so zu bemessen, dass die durch die Erwärmung aus der Anlage verdrängte Wassermenge $1^1/_2$ bis doppelt so gross sein dürfte, als sie wirklich ist. In dieser sich ergebenden Höhe des Gefässes ist ein möglichst weites Ueberlaufrohr anzuordnen, welches in ein Abfallrohr zu endigen hat. Ist das Abfallrohr ein Klosetrohr, so muss zur Vermeidung des Austritts von Gerüchen innerhalb des Gefässes das Ueberlaufrohr nach unten verlängert werden und etwa 10 cm vom Boden beginnen.

Ueber dem Ueberlaufrohr ist bis zum oberen Rande noch etwa 10 cm Platz zu lassen und alsdann das Gefäss mit einem gutschliessenden Deckel zu versehen.

Bei Mitteldruckheizung hat das Gefäss entweder die gleiche Form oder diejenige eines Windkessels. Im ersten Falle muss das Verbindungsrohr mit der Anlage innerhalb des Gefässes in einem — meist an einem Körper gemeinsam angebrachten — Druck- und Saugventil endigen, von denen das erste bei der Ausdehnung des Wassers behufs Austritts, das letzte bei Erkaltung desselben behufs Zurücktritts des Wassers in Thätigkeit kommt. Das Druckventil ist derartig zu belasten, dass es bei Ueberschreiten um etwa 10° der zulässigen Temperatur im Kessel abbläst. Bei Anwendung eines Windkessels gilt bezüglich der Verbindung mit der Anlage und dem Signalrohr dasselbe, nur fällt das Ueberlaufrohr weg, dagegen muss vom höchsten Punkte des Windkessels noch ein unten verschliessbares Rohr nach dem Heizerstand führen, welches beim Nachfüllen der Anlage bis zum Signalrohr zu öffnen ist.

Die Anwendung eines Windkessels hat den Vortheil, bei Offenhalten des letzterwähnten Rohres die Anlage bei mittlerer Wintertemperatur als Niederdruckheizung betreiben zu können. Zum Reinigen des Windkessels ist am Boden ein Auslass — einfache Messingverschraubung genügt — anzubringen.

Dreizehntes Kapitel.

Heisswasserheizung.

(S. Tafel XIII.)

I. Anordnung und Ausführung.

Das Prinzip, welches der Heisswasserheizung zu Grunde liegt, ist dasselbe, wie dasjenige bei der Warmwasserheizung, nur bestehen die Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Heizflächen sowie das Leitungsrohr aus Röhren von gleichem und zwar in der Regel von 0,023 m lichtem und 0,033 m äusserem Durchmesser.

Die gesammte Anlage stellt somit ein Rohr ohne Ende dar, von welchem ein Theil, gewöhnlich in Spiralen gewunden — in der Praxis mit dem Namen „Schlangen“ belegt — mit den Verbrennungsgasen in Berührung steht, ein Theil in irgend welcher Anordnung in den betreffenden Räumen untergebracht wird.

Bei dem geringen lichten Durchmesser ist die Gefahr der Luftansammlung an einem Punkte in dem Masse wie bei Warmwasserheizung nicht vorhanden, geringe Luftmengen werden gleichmässig mit dem Wasser fortgeführt. Hierin liegt der Vortheil, dass die Röhren wenn nöthig auf- und abwärts geführt werden können, der Nachtheil dagegen, dass bei Eintritt von grösseren Luftblasen in das den Verbrennungsgasen ausgesetzte Rohr Poltern und Stossen, auch Explosion durch plötzliche Dampfbildung, eintreten kann. Um letztere möglichst zu vermeiden, wird die gesammte Anlage vor der Benutzung im gefüllten aber kalten Zustande unter einem Drucke, welcher 150 Atmosphären gleichkommt, geprüft.

Auf grösste innere Reinheit der Röhren ist zu achten, damit nicht durch Ansammlung von Unreinigkeiten eine Verstopfung und dann an irgend einer Stelle ein Platzen der Röhren während des Betriebes, welches stets einer Explosion gleichkommt, eintreten kann; in den ersten Jahren ist daher ein öfteres erneutes Füllen der Anlage erwünscht.

Damit alle Luft beim Füllen entweicht, hat dasselbe nicht durch die Wasserleitung, sondern mittelst Füllpumpe zu geschehen, unter Beobachtung der Vorsicht, dass das Wasser sich nur in einer Richtung der Rohrleitung fortbewegen kann und nach dem Füllen in längerem Umlauf erhalten wird. Zu diesem Zwecke sind besondere Vorrichtungen — gewöhnlich sogenannte „Durchpumphähne“ — in Anwendung zu bringen.

Das Wärme aufnehmende, Wärme abgebende und das Wasser lediglich leitende Rohr nennt man zusammen ein „System". Es können mehrere Systeme auch gekuppelt werden, indem man das zurückkehrende Wasser des ersten Systems in das Wärme aufnehmende Rohr des zweiten Systems u. s. w. und schliesslich das zurückkehrende Wasser des letzten Systems in das Wärme aufnehmende Rohr des ersten Systems eintreten lässt.

Die Wärme aufnehmenden Heizspiralen werden alsdann ein und demselben Feuerstrom ausgesetzt. Nur für Räume, welche soviel Wärmerohr erfordern, dass mehrere Systeme nothwendig werden (Säle), ist die Kuppelung zu empfehlen.

Die Dichtung der Röhren erfolgt ausschliesslich durch Aneinanderpressen der Rohrenden — von denen das eine flach gefeilt, das andere scharf gefraisst ist — mittelst Muffen mit Rechts- und Links-Gewinde. Dichtmaterial (wie das Einlegen von Kupferringen) soll nicht verwendet werden.

Eine eigentliche Wärmeregelung wie bei Warmwasserheizung ist nicht zu erzielen, nur durch Anweisung eines kürzeren Weges für das Wasser vermittelst der hierfür konstruirten „Zwei-" und „Dreiweghähne" lässt sich in einem Raume ein Theil des Wärmerohrs, aber immer zu ungunsten der gleichmässigen Wärmeerhaltung in den anderen Räumen, ausschalten. Eine mittelbare Regelung ist durch Isolirmäntel zu erzielen (s. später bei Dampfheizung).

Die Temperatur des die Feuerschlangen verlassenden Wassers kann nur annähernd durch angelegte Thermometer gemessen werden, welche entweder in mit Oel gefüllten Hülsen stecken oder durch Quecksilberamalgam, aus welchem sich beim Heizen das Quecksilber verflüchtigt, mit dem Rohr verbunden werden.

Zur Aufnahme des in Folge Erwärmung austretenden Wassers dienen wie bei der Mitteldruck-Warmwasserheizung entweder Ausdehnungs-Gefässe oder geschlossene Ausdehnungsröhren (Windkessel). Erstere haben genau dieselbe Konstruktion wie bei der Warmwasserheizung, letztere bestehen aus einer entsprechenden Anzahl senkrechter und mit einander verbundener Röhren von einem etwa 0,06 m bis 0,07 m lichten Durchmesser. Die Gesammtlänge dieser Röhren hat alsdann etwa $^1/_{50}$ bis $^1/_{60}$ der Länge des Heizsystems zu betragen.

An Orten, in welchen keine Fabriken sich befinden, welche Heisswasserheizung ausführen, verdienen die Ausdehnungsröhren eine grössere Empfehlung, da bei Unachtsamkeit im Betrieb Luft in die Anlage treten kann und alsdann ein erneutes Durchpumpen erforderlich wird.

Bei Anwendung von Ausdehnungsgefässen ist darauf zu achten,

dass dieselben etwa den halben Wasserinhalt des gesammten Heizsystems aufnehmen können.

Jede Heisswasserheizung soll mit einem Manometer versehen werden.

Bei dem geringen Wasserinhalt der Röhren ist unter Umständen ein Einfrieren des Wassers leicht möglich. Es ist versucht worden, diesem Uebelstande durch geeignete Beimischungen zu dem Wasser abzuhelfen, doch führen dieselben meist Uebelstände mit sich. Glycerin schwitzt durch die Muffen und riecht, Salzlösungen greifen das Rohr und die Messingtheile an; Spiritus ($^1/_3$ des Röhreninhalts) bewährt sich noch am besten, soll aber nicht innig mit dem Wasser gemischt bleiben.

Bezüglich der für die Anordnung noch in Frage kommenden Punkte (Durchführung durch Wände, Schutz gegen Wärmeabgabe, Befestigung u. s. w.) wird auf die Anordnung der Röhren bei Warmwasserheizung verwiesen.

II. Berechnung der Heisswasserheizung.*)

1. Berechnung für den Kostenanschlag.

a) **Beheizung eines Raumes oder mehrerer in demselben Stockwerke liegender Räume durch ein System.** (Fig. 44.) Die gesammte in einem System befindliche Länge L zerfällt in:

l_1 die Länge des von den Feuergasen bespülten Rohres (Feuerschlange),

l_2 die Länge des vor Wärmeabgabe zu schützenden Leitungsrohres,

l_3 die Länge des Wärmrohrs.

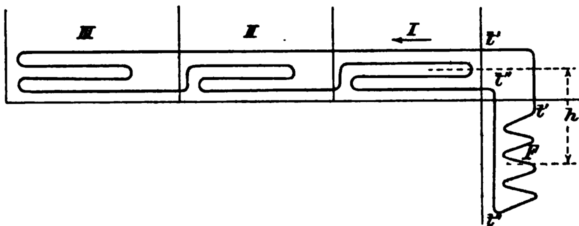


Fig. 44

Von diesen Grössen ergiebt sich l_2 aus der Anordnung der Anlage, l_1 und l_3 sind zu berechnen.

Für l_1 ist für Gegenstrom, welcher fast immer Anwendung findet, zu setzen, da 10 laufende Meter Rohr fast genau 1 qm Oberfläche besitzen:

*) Vergl. Gesundheits-Ingenieur 1889, No. 1 und 2, desgl. 1881; No. 13 und 14, 1882, No. 11, s. a. Einbeck, Theorie der Heisswasserheizung, Stuttgart 1887.

$$l_1 = \frac{10\,W}{k\left\{(T-T_0)-(t'-t'')\right\}}\, ln\, \frac{T-t'}{T_0-t''}, \qquad (82)$$

wenn bedeutet:

W die gesammte in den Räumen stündlich bei der niedrigsten Aussentemperatur zu liefernde Wärmemenge.

T die Temperatur der Feuergase beim ersten Berühren der Feuerschlange,

T_0 die Temperatur der Feuergase beim Verlassen der Feuerschlange,

t' die Temperatur, mit welcher das Wasser die Feuerschlange verlässt,

t'' die Temperatur, mit welcher das Wasser in die Feuerschlange eintritt,

k den Wärmeüberführungskoeffizienten.

Wählt man $T = 1200°$, $T_0 = 250°$, $t' = 150°$, $t'' = 80°$, $k = 13$, so ist:

$$l_1 = 0{,}0016\ W. \qquad (82^a)$$

Da Verhältnisse, welche grössere Feuerschlangen beanspruchen, selten vorkommen, so kann der vorstehende einfache Ausdruck fast stets zur Berechnung Anwendung finden. Eine etwas zu grosse Feuerschlange hat einen Nachtheil nicht zur Folge.

Für l_3 ist zu setzen, da 14 laufende Meter Rohr 1 qm Innenfläche darbieten:

$$l_3 = \frac{14\,W}{k\,(t'-t'')}\, ln\, \frac{t'-\vartheta}{t''-\vartheta} = \frac{32{,}2\,W}{k\,(t'-t'')}\, \log \frac{t'-\vartheta}{t''-\vartheta}, \qquad (83)$$

worin, ausser den früheren Bezeichnungen, ϑ die mittlere Temperatur bedeutet, mit welcher die Luft die Wärmeröhren verlässt.

Es kann angenommen werden:

$k = 15$, sofern höchstens 2 Röhren übereinander liegen und nicht durch Gitterwerk umschlossen sind,

$k = 14$, sofern 2 Röhren übereinander liegen und durch Gitterwerk umschlossen sind, oder sofern 3 und mehr Röhren übereinander liegen, ohne durch Gitterwerk umschlossen zu sein,

$k = 13$, sofern 3 und mehr Röhren übereinander liegen und durch Gitterwerk umschlossen sind.

ϑ hängt ab von der Temperatur und der Anzahl der übereinander liegenden Wärmeröhren und der Temperatur der Zimmerluft; es ist leider und nicht ohne Schaden für den Effekt nur schätzungsweise anzunehmen. Bei etwa 150° Temperatur im Steigerohr und 80° im Fallrohr kann im Mittel gesetzt werden:

$\vartheta = 5°$ über Zimmertemperatur, sofern 2 Röhren übereinander liegen und nicht durch Gitterwerk umschlossen sind,

$\vartheta = 10°$ über Zimmertemperatur, sofern 2 Röhren übereinander liegen und durch Gitterwerk umschlossen sind, oder 3 und mehr Röhren übereinander liegen, ohne durch Gitterwerk umschlossen zu sein,

$\vartheta = 15°$ über Zimmertemperatur, sofern 3 und mehr Röhren übereinander liegen und von Gitterwerk umschlossen sind.

Bei ungefähr 100° Temperatur im Steigerohr und 50° im Fallrohr wird ϑ um etwa 5° niedriger anzunehmen sein.

Sofern eine höchste zulässige Temperatur im Steigerohr nicht vorgeschrieben ist oder sofern nicht der Wunsch vorliegt, im Kostenanschlage nur die unbedingt erforderliche, also geringste Rohrmenge aufzunehmen, kann es zur Berechnung der Rohrlängen mittelst der Gleichungen 82 und 83 sein Bewenden haben, nur sind die Temperaturen im Steige- und Fallrohr nicht zu nahe liegend anzunehmen, also etwa 150° und 80°, oder 130° und 60°. Ist eine höchste Temperatur des Wassers im Steigerohr vorgeschrieben oder soll schon für den Anschlag die geringste Rohrmenge ermittelt werden, so ist noch folgende Rechnung anzustellen.

Wie bei der Warmwasserheizung ist eine erforderliche und eine erreichbare Geschwindigkeit des Wassers zu unterscheiden, beide müssen einander gleich sein, wenn der gewünschte Effekt der Anlage bei den für die Vertheilung anzunehmenden Verhältnissen (s. später) gesichert sein soll.

Zur Bestimmung der erforderlichen Geschwindigkeit dient die Gleichung:

$$v = \frac{W}{1400\,(t' - t'')}, \qquad (84)$$

zur Bestimmung der erreichbaren Geschwindigkeit:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h\,(t'^2 - t''^2)}{\rho L + 0{,}023\, \Sigma\zeta}}, \qquad (85^a)$$

in welchen Ausdrücken, ausser den bereits mitgetheilten Bezeichnungen, bedeutet:

h den senkrechten Abstand zwischen der Mittelebene der Feuerschlange und derjenigen der Wärmeröhren in den Räumen,

L die gesammte Rohrlänge $= l_1 + l_2 + l_3$,

ρ den Reibungskoeffizienten,

$\Sigma\zeta$ die Summe der einmaligen Widerstände.

Der Reibungskoeffizient ρ ist für die verschiedenen Geschwindigkeiten der Tabelle 14 zu entnehmen.

$\Sigma\zeta$ geht aus der Anordnung hervor. Für jeden Bogen, welcher nicht den fünffachen Rohrdurchmesser zum Halbmesser hat — in diesem Falle ist $\zeta = 0$ zu setzen — kann $\zeta = 0{,}5$, für jeden Zwei- oder Dreiwegehahn 1 gesetzt werden. Die Ausführung der Anlage muss bei diesen Annahmen als eine tadellose vorausgesetzt werden; die bei mangelhafter Arbeit durch das Biegen des Rohres entstehende Beeinträchtigung des runden Querschnitts oder die bei ungenügender Prüfung der Röhren vor dem Verlegen leicht eintretende Benutzung von Röhren mit fehlerhaften, den Querschnitt verengenden Schweissstellen, muss selbstverständlich als ausgeschlossen betrachtet werden.

In der Regel lässt sich durch Anordnung entsprechend grosser Bogen erreichen, dass $\Sigma\zeta = 0$ wird. Es ist dies bei jeder Anlage zu empfehlen; alsdann geht Gleichung 85ª in die andere über:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h\,(t'^2 - t''^2)}{\rho\, L}}. \qquad (85^b)$$

Wird nun t' und t'' vorläufig durch Wahl angenommen, so ist L bekannt, ebenso ergiebt sich das erforderliche v aus Gleichung 84. Entnimmt man für dasselbe das zugehörige ρ aus Tabelle 14, so muss nach Einsetzung der Werthe in Gleichung 85^a bezw. 85^b das erforderliche v sich ergeben.

Bei grösserem v nach Gleichung 85^a bezw. 85^b als nach Gleichung 84 ist t' niedriger, t'' höher zu wählen. Bei kleinerem v hat das Umgekehrte stattzufinden. Ist t' vorgeschrieben, so bezieht sich das Gesagte nur auf t''.

Sobald eine andere Annahme von t' bezw. t'' erfolgt, ist die gesammte Rechnung zu wiederholen.

b) **Beheizung mehrerer in verschiedenen Stockwerken liegender Räume durch ein System.** Sofern es nicht darauf ankommt, die geringste erforderliche Rohrlänge zu erhalten, so können zur Bestimmung der Rohrlängen l_1 und l_3 (l_2 geht aus der Anordnung hervor) genau wie unter *a*, lediglich die Gleichungen 82 und 83 benutzt werden, sobald die Temperaturen t' und t'' nicht zu nahe liegend (also z. B. 150° und 80°, oder 130° und 60°) angenommen werden.

Bei gewünschter genauer Berechnung, (welche jederzeit ein geringeres Längenmass ergeben wird), muss ein ähnliches nur umständlicheres Verfahren wie unter *a* angegeben, Platz greifen. Es ist nämlich in die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit (85^a bezw. 85^b) statt des Ausdrucks $h\,(t'^2 - t''^2)$, sofern der in Fig. 45 angedeutete Fall vorliegt:

$$h_1\,(t'^2 - t''^2) + h_2\,(t'^2 - t_1^2) + h_3\,(t'^2 - t_2^2), \qquad (86^a)$$

sofern der in Fig. 46 angedeutete Fall vorliegt:

$$h_1 (t'^2 - t''^2) + h_2 (t_1^2 - t_5^2) + h_3 (t_2^2 - t_4^2) \qquad (86^b)$$

einzusetzen.

Zur Bestimmung der in diesen Ausdrücken unbekannten Temperaturen dient die Gleichung 84, d. h. da in allen Rohrstrecken gleiche Geschwindigkeit herrscht, muss für Fig. 45

$$t' - t_2 = \frac{W_3}{1400\,v}, \quad t_2 - t_1 = \frac{W_2}{1400\,v}, \quad t_1 - t'' = \frac{W_1}{1400\,v} \qquad (87^a)$$

und für Fig. 46

$$t' - t_1 = \frac{W_1}{1400\,v}, \quad t_1 - t_2 = \frac{W_2}{1400\,v} \cdots t_5 - t'' = \frac{W_6}{1400\,v} \qquad (87^b)$$

sein.

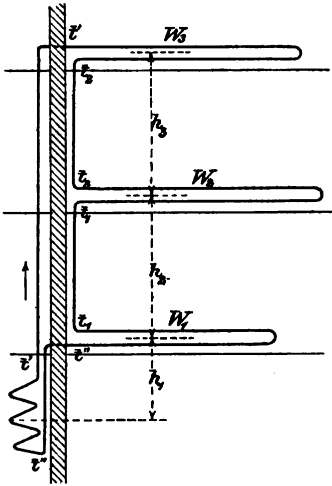


Fig. 45

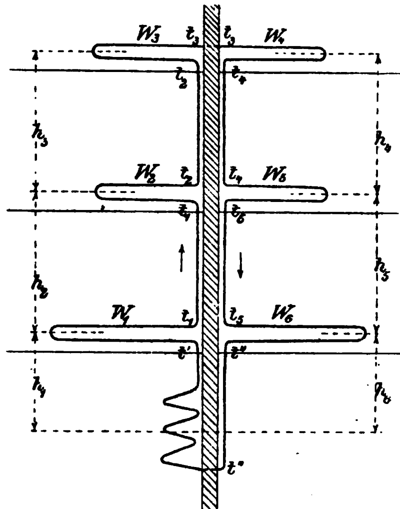


Fig. 46

Zur genauen Bestimmung der Rohrlängen für die niedrigste Aussentemperatur dient folgendes Verfahren.

Man wähle die höchste zulässige Temperatur des Wassers im Steigerohr t', nehme schätzungsweise die Geschwindigkeit v an und berechne nach den obigen Gleichungen (87^a bezw. 87^b) sowohl t' als t_1, t_2 u. s. f. Alsdann bestimme man die Ausdrücke 86^a bezw. 86^b, sowie wie früher die Rohrlängen l_1, l_2 und l_3, d. h. l_3 unter Benutzung des angenommenen t' und berechneten t'' und bestimme gemäss Gleichung 84^a bezw. 85^b die erreichbare Geschwindigkeit. Ist dieselbe grösser, als die angenommene erforderliche, so ist die Wärmerohrlänge l_3 zu gross, umgekehrt zu klein; die Rechnung muss eventuell unter anderer Annahme von v wiederholt werden.

2. Berechnung für die Ausführung.

a) **Beheizung eines Raumes durch ein oder mehrere Systeme.** In diesem Falle kann ohne weiteres die für den Kostenanschlag angestellte Rechnung auch für die Ausführung beibehalten werden. Die gesammte Rohrlänge eines einzelnen Systems soll möglichst nicht über 160 bis 180 m betragen; mehrere Systeme sind zweckentsprechend zu kuppeln und gleich lang zu machen.

b) **Beheizung mehrerer in demselben Stockwerke liegender Räume durch ein System.** Die Berechnung zerfällt in die Bestimmung der gesammten erforderlichen Rohrlänge für den grössten Wärmebedarf und in die Bemessung der einzelnen in den Räumen unterzubringenden Rohrlängen. Der erste Theil bleibt genau derselbe wie unter 1 (für den Kostenanschlag) angegeben ist. Der zweite Theil — Bemessung der einzelnen Rohrlängen in den Räumen — hat nach den in den einzelnen Räumen erforderlichen Wärmemengen zu erfolgen. Diese Wärmemengen sind je nach der Aussentemperatur verschieden gross und da eine Regelung der Wärmeabgabe, wie bei der Warmwasserheizung nicht möglich ist, so folgt, dass nur für eine Aussentemperatur eine der geforderten Temperatur entsprechende Wärmevertheilung in verschiedenen von einem Systeme beheizten Räumen verlangt werden kann. Die Wände der Räume gleichen Wärmeschwankungen zwar innerhalb gewisser Grenzen aus, indess muss die genannte Eigenschaft der Heisswasserheizung als ein grosser Mangel bezeichnet werden, welcher zu grosser Vorsicht bezüglich der Anwendung in dem vorliegenden Falle mahnt. Um den Mangel auf ein möglichst geringes Mass zurückzuführen, empfiehlt es sich stets, die Vertheilung des Rohres für den Wärmebedarf bei einer der winterlichen Durchschnittstemperatur nahe liegenden Temperatur vorzunehmen. Für eine derartige Vertheilung ist es nöthig, die Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohr zu kennen, unter denen die erforderliche Geschwindigkeit gleich der erreichbaren wird. Bedeutet also:

- W_m die stündliche durch Transmission der Wände u. s. w. verloren gehende Wärmemenge bei mittlerer Wintertemperatur,
- v_m die erforderliche bezw. erreichbare Geschwindigkeit des Wassers,
- t'_m die Temperatur des Wassers im Steigerohr bei der Geschwindigkeit v_m,
- t''_m die Temperatur des Wassers im Fallrohr bei der Geschwindigkeit v_m,

so gelten für die Vertheilung der für die niedrigste Aussentemperatur berechneten Rohrlänge l_3 die Gleichungen:

$$l_3 = \frac{32{,}2\, W_m}{k\,(t'_m - t''_m)} \log \frac{t'_m - \vartheta}{t''_m - \vartheta}, \qquad (88)$$

$$v_m = \frac{W_m}{1400\,(t'_m - t''_m)}, \qquad (89)$$

$$v_m = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h\,(t'^2_m - t''^2_m)}{\rho_m L + 0{,}023\,\Sigma\zeta}} \text{ bezw.} = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h\,(t'^2_m - t''^2_m)}{\rho_m L}}. \qquad (90)$$

Aus diesen Gleichungen folgt nun, wenn man setzt:

$$A = \frac{365\,450\,000}{W_m h} L, \qquad (91^a)$$

$$B = \frac{365\,450\,000}{W_m h}\, 0{,}023\,\Sigma\zeta, \qquad (91^b)$$

$$C = \frac{W_m}{2800}, \qquad (91^c)$$

$$D = 0{,}000\,022\,183\, l_3\, k, \qquad (91^d)$$

die für die Vertheilung massgebenden Temperaturen des Wassers:

$$t'_m = v^3_m (A\rho_m + B) + \frac{C}{v_m}, \qquad (92)$$

$$t''_m = v^3_m (A\rho_m + B) - \frac{C}{v_m}, \qquad (93)$$

und zur Bestimmung von ϑ:

$$\frac{D}{v_m} = \log \frac{t'_m - \vartheta}{t''_m - \vartheta}.$$

Zur Lösung dieser Gleichungen ist nun v_m schätzungsweise und ρ_m dementsprechend aus Tabelle 14 abzulesen. v_m ist als richtig gewählt zu betrachten, wenn das aus Gleichung 94 leicht zu berechnende ϑ sich annähernd innerhalb der bereits angegebenen Grenzen hält. Da die Konstanten A, B, C und D nur einmal bestimmt zu werden brauchen, so ist der Zeitverlust auch bei nöthig werdender wiederholter Rechnung in Folge einer erforderlichen anderen Wahl von v_m kein bedeutender.

Die **Vertheilung** des Rohres kann nun mittelst Rechnung geschehen, indess wird dieselbe bei einer grösseren Anzahl von Räumen recht umständlich. Es soll daher das folgende einfachere, bereits von **Einbeck***) angewendete Verfahren empfohlen werden.

l_3 ist bekannt und für die Vertheilung auszudrücken durch die Gleichung:

*) S. **Einbeck**, Theorie der Heisswasserheizung; Stuttgart 1887.

$$l_3 = \frac{32{,}2\ W_m}{k\,(t'_m - t''_m)} \log \frac{t'_m - \vartheta}{t''_m - \vartheta}.$$

Setzt man in diesem Ausdrucke als für jedes System konstant:

$$\frac{32{,}2\ W_m}{k\,(t'_m - t''_m)} = \frac{l_3}{\log \dfrac{t'_m - \vartheta}{t''_m - \vartheta}} = E \tag{98}$$

und

$$\log\,(t''_m - \vartheta) = F, \tag{99}$$

so lässt sich schreiben:

$$l_3 = E\left\{\log\,(t'_m - \vartheta) - F\right\}. \tag{100}$$

Man theile nun W_m in n gleiche Theile (etwa 6 bis 8), ebenso die Differenz zwischen der Temperatur des Wassers im Steige- und Fallrohr $(t'_m - t''_m)$, dann ist die Temperatur des Wassers nach Abzug des ersten Theiles von W_m: $t'_m - \frac{1\,(t'_m - t''_m)}{n}$, nach Abzug auch des zweiten Theiles: $t'_m - \frac{2\,(t'_m - t''_m)}{n}$, nach Abzug des dritten: $t'_m - \frac{3\,(t'_m - t''_m)}{n}$ u. s. f., nach Abzug auch des $n$ten Theiles:

$$t'_m - \frac{n\,(t'_m - t''_m)}{n} = t''_m.$$

Für jeden so bestimmten Punkt von W_m wird mit Hilfe der ermittelten Temperaturen gemäss Gleichung 100 die zugehörige Rohrlänge berechnet. Trägt man nun auf Papier mit rechtwinkligem Koordinatensystem als Abscissen die Theile von W_m, als Ordinaten die berechneten zugehörigen Längen l_3 auf, dann ergiebt sich durch Verbindung der Schnittpunkte eine Linie, welche die Rohrlänge für jede beliebige Wärmemenge erkennen lässt. Man hat alsdann nur nöthig, bei gegebener Rohrlänge die Wärmemengen oder bei vorgeschriebenen Wärmemengen die Rohrlänge abzulesen. Mit Hilfe dieser für jedes System ohne nennenswerthen Zeitverlust aufzuzeichnenden Schaulinie lässt sich somit jede beliebige Vertheilung vornehmen, auch beim Montiren etwa nothwendige Aenderungen der angenommenen Vertheilung sofort angeben (vergl. Beispiel).

c) **Beheizung mehrerer in verschiedenen Stockwerken liegender Räume durch ein System.** Die Berechnung der Rohrlängen für die niedrigste Aussentemperatur bleibt dieselbe, wie für den Kostenanschlag; zu besprechen bleibt somit nur die Vertheilung der für die niedrigste Aussentemperatur ermittelten Länge des Wärmerohrs l_3 für den Wärmebedarf bei einer

mittleren Wintertemperatur. Zunächst sind wieder die Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohr zu bestimmen.

Man nimmt hierfür schätzungsweise die erforderliche Temperatur des Wassers im Steigerohr, ebenso die Geschwindigkeit des Wassers an, bestimmt hiernach die Ein- und Austrittstemperaturen des Wassers für die einzelnen Räume (wie beim Anschlag mittelst Gleichung 87^a bezw. 87^b) und berechnet mit Hilfe der nun bekannten Wassertemperatur im Fallrohr nach Gleichung 88 die Wärmerohrlänge, welche der für die niedrigste Aussentemperatur berechneten Rohrlänge l_3 gleich kommen muss. Ist das nicht der Fall, so sind alle Temperaturen um eine entsprechende Anzahl Wärmegrade zu erhöhen oder zu vermindern. ϑ ist den früheren Angaben entsprechend zu wählen. Hierauf sind (wie für den Anschlag) die Ausdrücke 86^a bezw. 86^b auszurechnen und alsdann unter Einsetzung derselben in die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit (Gleichung 90), letztere selbst zu bestimmen. Dieselbe muss der gewählten erforderlichen gleich sein; ist es nicht der Fall, so ist unter anderer Annahme der Geschwindigkeit die gesammte Rechnung zu wiederholen.

Sind die Temperaturen endgültig festgestellt, so erfolgt die Berechnung des in einem jeden Raum zu legenden Wärmerohres gemäss Gleichung 89.

Die ganze Berechnung ist eine wesentlich umständlichere, als wenn ein System nur für ein Stockwerk bestimmt wird — es empfiehlt sich daher bei mehreren neben- oder übereinander liegenden Räumen, besonders auch wegen der graphischen Methode, welche im vorliegenden Fall nicht anzuwenden ist, die Systeme nach den einzelnen Stockwerken zu theilen und gemäss der unter b) angegebenen Berechnung zu verfahren.

3. Beispiele zur Berechnung einer Heisswasserheizung.

Beispiel 1. Ein Saal 10 m lang, 8 m breit ist durch Heisswasserheizung zu erwärmen. Derselbe transmittirt bei —20° Aussentemperatur und + 20° Innentemperatur stündlich 9600 *WE.* Die Wärmeröhren sollen an den Wänden herumgeführt und vergittert werden. Die höchste Temperatur des Wassers im Steigerohr darf 150° nicht übersteigen. Die Entfernung der Mittelebene der Feuerschlange von der Mittelebene der Wärmeröhre betrage 4 m.

Lösung der Aufgabe. Die gesammte Länge der Wände, an welchen die Wärmeröhren verlegt werden können, möge 30 m betragen, der Bedarf an Wärmerohr wird ungefähr 115 bis 120 m ausmachen, so dass 4 Röhren übereinander liegen müssen.

Der Aufgabe entsprechend ist zu setzen: die Temperatur des Wassers im Steigerohr $t' = 150°$, die Temperatur der die Wärmeröhren verlassenden Luft $\vartheta = 20 + 15 = 35°$, den Wärmeüberführungskoef-

fizienten für das Wasserrohr $k = 13$. Schätzungsweise möge die Temperatur des Wassers im Fallrohr zu $t'' = 80^\circ$ angenommen werden. Alsdann ist die Länge des von den Feuergasen bespülten Rohres (gemäss Gleichung 82[a]):

$$l_1 = 0{,}0016 \cdot 9600 = 15{,}36 \sim 16 \text{ m},$$

die Länge des vor Wärmeabgabe zu schützenden Leitungsrohres (gemäss der Anordnung):

$$l_2 = 13 \text{ m},$$

die Länge des Wärmerohres (gemäss Gleichung 83):

$$l_3 = \frac{32{,}2 \cdot 9600}{13\,(150-80)} \log \frac{150-35}{80-35} \backsim 138 \text{ m},$$

die Länge des gesammten zu verwendenden Rohres:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 = 170 \text{ m}.$$

Kommt es auf Ersparniss von Rohr nicht an, so kann die Rechnung hiermit ihr Bewenden haben, anderenfalls ist die folgende Berechnung noch anzustellen.

Es ist gemäss Gleichung 84

die erforderliche Geschwindigkeit: $v = \frac{9600}{1400\,(150-80)} = 0{,}09796 \text{ m},$

derselben entsprechend ist (nach Tabelle 14) $\rho = 0{,}0443$ und gemäss Gleichung 85[b] die erreichbare Geschwindigkeit, wenn man alle Bogen in der Rohrleitung so gross macht, dass $\Sigma\zeta = 0$ gesetzt werden kann:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{4\,(150^2 - 80^2)}{0{,}0443 \cdot 170}} = 0{,}128 \text{ m}.$$

Die erreichbare Geschwindigkeit ist grösser als die erforderliche, demgemäss kann t'' höher gewählt werden, was eine Verringerung der Rohrlänge im Gefolge hat.

Setzt man $t'' = 95^\circ$, alsdann ist die erforderliche Geschwindigkeit

$$v = \frac{9600}{1400\,(150-95)} = 0{,}125 \text{ m},$$

somit

$$\rho = 0{,}0412,\quad l_3 = 122 \text{ m},\quad L = 151 \text{ m}$$

und die erreichbare Geschwindigkeit:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{4\,(150^2 - 95^2)}{0{,}0412 \cdot 151}} = 0{,}1286 \text{ m}.$$

Die erreichbare Geschwindigkeit ist zwar noch immer etwas grösser als die erforderliche, der Unterschied ist aber so gering, dass

man das Ergebniss belassen kann. Würde man $t' = 150°$, $t'' = 100°$ setzen, so ergäbe sich die erforderliche Geschwindigkeit zu 0,137 m, l_3 zu 118 m, L zu 147 m und die erreichbare Geschwindigkeit zu 0,128 m. Es liegt also die Temperatur so nahe an 95°, dass eine erneute Rechnung nur sehr geringe Vortheile darbieten würde. Durch die Aufstellung der Gleichungen für die erforderliche und die erreichbare Geschwindigkeit ist also eine Ersparniss an Rohr von $170 - 151 = 19$ m erzielt worden.

Beispiel 2. 3 nebeneinander liegende Räume sind durch eine Heisswasserheizung zu erwärmen. Dieselben transmittiren bei $-20°$ Aussentemperatur und $+20°$ Innentemperatur stündlich (wie im vorigen Beispiele) 9600 *WE.* Es sollen in den Räumen 4 bis 6 Röhren übereinander liegen und vergittert werden. Die Anordnung der Räume geht aus Figur 44 hervor. Die Entfernung der Mittelebene der Feuerschlange von der Mittelebene der Wärmeröhren betrage wieder 4 m.

Lösung der Aufgabe.

a) **Bestimmung der Gesammtlänge des Heizsystems für die niedrigste Aussentemperatur.** Da für die Berechnung des Gesammtrohrs alle Bedingungen dieselben sind wie im Beispiel 1, so bleibt diese auch dieselbe. Für die Ausführung tritt nur noch die Vertheilung des Rohres in den einzelnen Räumen hinzu, daher nur diese noch Erledigung zu finden hat.

b) **Bestimmung der Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohr bei mittlerer Wintertemperatur.** Für eine mittlere Wintertemperatur sei die stündlich erforderliche Wärmemenge $W = 4800$ *WE.*

Für die Vertheilung ist gegeben: $L = 151$ m, $l_3 = 122$ m. (Falls die Berechnung der Rohrlängen nur nach den Gleichungen 82ª und 83 erfolgen soll, ist für $L = 170$ m, für $l_3 = 138$ m beizubehalten. Vergl. das vorige Beispiel).

Es ist gemäss der Gleichungen 91ª bis 91ᵈ:

$$A = \frac{365\,450\,000}{4800 \cdot 4} 151 = 2\,874\,112,$$

$$B = 0 \text{ (da } \Sigma\zeta = 0 \text{ ist)},$$

$$C = \frac{4800}{2800} = 1{,}7143,$$

$$D = 0{,}000\,022\,183 \cdot 122 \cdot 13 = 0{,}035\,182.$$

Die Temperatur des Wassers im Steigerohr stellt sich nun gemäss Gleichung 92:

$$t'_m = 2\,874\,112\, v_m^3 \rho_m + \frac{1{,}7143}{v_m},$$

diejenige im Fallrohr gemäss Gleichung 93:

$$t''_m = 2\,874\,112\, v_m^3 \rho_m - \frac{1{,}7143}{v_m}.$$

Wählt man nun probeweise $v_m = 0{,}085$ m, also $\rho_m = 0{,}0469$, so ist:

$$t'_m = 103^\circ,\ t''_m = 63^\circ.$$

Es soll nun für den vorliegenden Fall nach früherem (s. S. 189) ϑ etwa 30° betragen. Es ergiebt sich aus Gleichung 94:

$$\frac{D}{v_m} = \frac{0{,}035182}{0{,}085} = \log \frac{103 - \vartheta}{63 - \vartheta},$$

$$\log \frac{103 - \vartheta}{63 - \vartheta} = 0{,}414,\quad \frac{103 - \vartheta}{63 - \vartheta} = 2{,}594$$

und somit:

$$\vartheta = 38^\circ.$$

Dieser Werth ist zu gross, folglich muss die Rechnung unter Annahme eines kleineren v_m wiederholt werden, bei welcher die Konstanten jedoch dieselben bleiben.

Wählt man:

$$v_m = 0{,}08 \text{ m},\ \text{also } \rho = 0{,}0479,\ \text{so ist:}$$
$$t'_m = 92^\circ,\ t''_m = 49^\circ,\ \vartheta = 24{,}5^\circ.$$

Jetzt ist ϑ etwas zu klein; der richtige Werth für ϑ zu etwa 29° liegt somit zwischen $v_m = 0{,}08$ und $v_m = 0{,}085$, d. h. nach Schätzung bei 0,082 m. Die Rechnung ergiebt die Richtigkeit der Schätzung, d. h. es ist alsdann:

$$t'_m = 96^\circ,\ t''_m = 54^\circ,\ \vartheta = 29{,}08^\circ \backsim 29^\circ.$$

c) **Vertheilung des Wärmerohres in den einzelnen Räumen.** Für diese sind zunächst die Konstanten E und F nach Gleichung 98 und 99 zu bestimmen. Es ist:

$$E = \frac{122}{\log \dfrac{96 - 29}{54 - 29}} = 284{,}96,$$

$$F = \log (54 - 29) = 1{,}39794.$$

Theilt man nun $W_m = 4800$ in 6 gleiche Theile, also jeden zu 800 *WE*, ebenso die Differenz zwischen der Temperatur im Steigerohr und Fallrohr, $96 - 54 = 42^\circ$, also jeden zu 7°, so entspricht die Wärmeabgabe von jedesmal 800 *WE* der Temperaturdifferenzabnahme von 7°. Die entsprechenden Rohrlängen berechnen sich somit nach Gleichung 100:

für 4800	*WE* zu:	284,96 { log (96 — 29) — 1,39794 }	=	122 m,
„ 4800 — 800	„ „	284,96 { log (89 — 29) — 1,39794 }	=	108,3 m,
„ 4800 — 1600	„ „	284,96 { log (82 — 29) — 1,39794 }	=	93 m,
„ 4800 — 2400	„ „	284,96 { log (75 — 29) — 1,39794 }	=	75,5 m,
„ 4800 — 3200	„ „	284,96 { log (68 — 29) — 1,39794 }	=	55 m,
„ 4800 — 4000	„ „	284,96 { log (61 — 29) — 1,39794 }	=	30,4 m,
„ 4800 — 4800	„ „	284,96 { log (54 — 29) — 1,39794 }	=	0 m.

Trägt man nun wie in Fig. 47 gezeigt ist, als Ordinaten die berechneten Rohrlängen, als Abscissen die Wärmemengen auf, so erhält man die Schaulinie für den Verlauf der Wärmeabgabe und kann mit Hilfe derselben die Vertheilung nach Belieben vornehmen.

Von den in Frage stehenden Räumen möge:

Raum I . . . . 1600 *WE*,
„ II . . . . 1400 „
„ III . . . . 1800 „

erfordern. Soll (wie in Fig 44 angegeben) das Wärmerohr erst durch Raum I, II und III hindurchgeführt und die alsdann noch ungedeckte Wärmemenge in den Räumen von dem Rücklauf abgegeben werden, so erhält alsdann Raum I, wenn derselbe 6 m lang ist, zunächst 6 m Wärmerohr. Nach der Aufzeichnung entspricht dies, wenn man auf der *Y* Achse bei 122—6 m horizontal bis zum Schnittpunkt mit der Kurve und von da senkrecht hinunter zur *X*Achse geht, einer Wärmeabgabe von 320 *WE*. Raum II erhält bei 5 m Länge 5 m Wärmerohr mit einer Wärmeabgabe von 600—320 = 280 *WE*. Raum III fordert 1800 *WE*, 600 *WE*

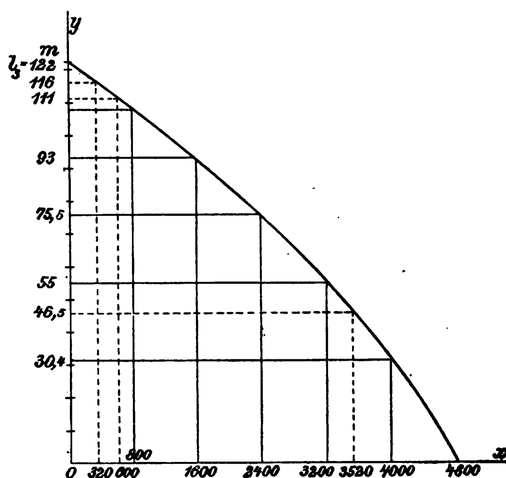


Fig. 47

sind schon im Raum I und II abgegeben worden, also geht man von der *X*Achse bei 1800 + 600 = 2400 senkrecht hoch, vom Schnittpunkt horizontal links und liest auf der *Y*Achse den Werth 75,8 ab. 11 m sind schon im Raum I und II geblieben, folglich erhält Raum III 122 — (11 + 75,8) = 35,2 m Wärmerohr. Zurückgehend nach Raum II

und I, bleiben für Raum II noch 1120 *WE*, man findet entsprechend 29,3 m; für Raum I 1280 *WE*, also entsprechend den Rest = 46,5 m Rohr.

Beispiel 3. 3 übereinander liegende Räume sind durch Heisswasserheizung zu erwärmen. Die Entfernung der Mittelebene der Feuerschlange von den Mittelebenen der Wärmeröhren betrage für das Erdgeschoss 4 m, für den I. Stock 9 m, für den II. Stock 14 m. Die höchste Temperatur des Wassers im Steigerohr darf 150° nicht übersteigen. Die Transmission des untersten Raumes bei — 20° sei $W_1 = 3200$ *WE*, des mittelsten $W_2 = 2800$ *WE*, des obersten $W_3 = 3600$ *WE*. Alles Uebrige wie bei Beispiel 2.

Lösung der Aufgabe.

a) **Bestimmung der Gesammtrohrlänge des Heizsystems für die niedrigste Aussentemperatur.**

Der Aufgabe entsprechend ist:

$$t' = 150°, \quad \vartheta = 35°.$$

Gewählt soll werden nach Schätzung: $t'' = 80°$, alsdann ist zunächst wie in Beispiel 1, wenn die Anordnung Fig. 45 gewählt wird und das Leitungsrohr $l_2 = 25$ m beträgt:

$$l_1 = 15 \text{ m}, \quad l_2 = 25 \text{ m}, \quad l_3 = 138 \text{ m}, \quad L = 178 \text{ m}.$$

Diese Rechnung würde für die Längenbestimmungen genügen, sobald es nicht darauf ankommt die geringste erforderliche Rohrlänge nur in Anwendung zu bringen. Um die geringste erforderliche Rohrlänge zu ermitteln, muss die Berechnung der erforderlichen und erreichbaren Geschwindigkeit angestellt werden.

Im Ausdruck 86ᵃ ist $h_1 = 4$ m, $h_2 = h_3 = 5$ m zu setzen und es ist, sofern wieder $\Sigma\zeta = 0$ angenommen wird, in Gleichung 85ᵇ statt des Ausdrucks $h\,(t'^2 - t''^2)$ zu setzen (s. S. 190):

$$h_1\,(t'^2 - t''^2) + h_2\,(t'^2 - t_1^2) + h_3\,(t'^2 - t_2^2).$$

Wählt man nun probeweise $v = 0{,}2$, so ist nach den Gleichungen 87ᵃ, da $t' = 150°$ beträgt:

$$t_2 = 150 - \frac{3600}{1400 \cdot 0{,}2} = 137{,}14°,$$

$$t_1 = 137{,}14 - \frac{2800}{1400 \cdot 0{,}2} = 127{,}14°,$$

$$t'' = 127{,}14 - \frac{3200}{1400 \cdot 0{,}2} = 115{,}71°,$$

und somit:

$$h_1\,(t'^2 - t''^2) = 4\,(150^2 - 115{,}71^2) = 36\,445,$$

$$h_2\,(t'^2 - t_1^2) = 5\,(150^2 - 127{,}14^2) = 31\,677,$$

$$h_3\,(t'^2 - t_2^2) = 5\,(150^2 - 137{,}14^2) = 18\,463,$$

Sa. 86 585.

Den Temperaturen entsprechend stellt sich alsdann die Länge des Wärmerohres

$$l_3 = \frac{32{,}2 \cdot 9600}{13\,(150 - 115{,}71)} \log \frac{150 - 35}{115{,}71 - 35} = 107 \text{ m}$$

und mithin $L = 15 + 25 + 107 = 147$ m.

Die erreichbare Geschwindigkeit ergiebt sich, da für $v = 0{,}2$ $\rho = 0{,}0356$ ist, nach Gleichung 85[b]:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{86\,585}{0{,}0356 \cdot 147}} = 0{,}178 \text{ m.}$$

Das Ergebniss zeigt, dass die Geschwindigkeit mit 0,2 m etwas zu gross geschätzt war; die richtige Wahl wird bei etwa 0,18 m liegen; die Rechnung ist somit unter dieser Annahme zu wiederholen.

Für $t' = 150°$, $v = 0{,}18$ m ergiebt sich unter Anstellung derselben Rechnung:

$$t_2 = 135{,}71, \quad t_1 = 124{,}6, \quad t'' = 111{,}9,$$

$$\begin{aligned} h_1\,(t'^2 - t''^2) &= 4\,(150^2 - 111{,}9^2) &= 39\,914, \\ h_2\,(t'^2 - t_1^2) &= 5\,(150^2 - 124{,}6^2) &= 34\,874, \\ h_3\,(t'^2 - t_2^2) &= 5\,(150^2 - 135{,}71^2) &= 20\,414, \\ & & \text{Sa. } 95\,202. \end{aligned}$$

$$l_3 = \frac{32{,}2 \cdot 9600}{13\,(150 - 111{,}9)} \log \frac{150 - 35}{111{,}9 - 35} = 109 \text{ m,}$$

$$L = 15 + 25 + 109 = 149 \text{ m,}$$

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{95\,202}{0{,}0367 \cdot 149}} = 0{,}183 \text{ m.}$$

Die Schätzung war also eine genügend richtige.

Die Berechnung der Rohrlängen nur mit Hilfe der Gleichungen 82[a] und 83 ergab $L = 178$ m, die genaue Berechnung $L = 149$ m, es werden also durch die letztere 29 m erspart.

b) **Bestimmung der Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohr bei mittlerer Wintertemperatur.** Für die mittlere Wintertemperatur sei wie im Beispiel 2 die erforderliche Wärmemenge für:

Raum I = 1600 *WE*, Raum II = 1400 *WE*, Raum III = 1800 *WE*.

Gegeben sind die Rohrlängen $L = 149$ m und $l_3 = 109$ m (event., wenn die einfachere Berechnung unter a beibehalten werden soll, $L = 178$ m, $l_3 = 138$ m). Wählt man für die höchste Temperatur im Steigerohr schätzungsweise $t'_m = 95°$ und die Geschwindigkeit $v_m = 0{,}12$ m, so ergiebt sich gemäss der Gleichungen 87[a]



$$t_2 = 95 \quad - \frac{1800}{1400 \cdot 0{,}12} = 84{,}29°,$$

$$t_1 = 84{,}29 - \frac{1400}{1400 \cdot 0{,}12} = 75{,}96°,$$

$$t''_m = 75{,}96 - \frac{1600}{1400 \cdot 0{,}12} = 66{,}44°,$$

alsdann ist, da ϑ zu 30° anzunehmen ist:

$$l_3 = \frac{32{,}2 \cdot 4800}{13\,(95 - 66{,}44)} \log \frac{95 - 30}{66{,}44 - 30} = 105 \text{ m}.$$

l_3 soll aber 109 m sein, setzt man daher $t'_m = 93°$, so ist bei demselben v_m:

$$t_2 = 82{,}29°, \quad t_1 = 73{,}96°, \quad t''_m = 64{,}44°$$

und

$$l_3 = \frac{32{,}2 \cdot 4800}{13\,(93 - 64{,}44)} \log \frac{93 - 30}{64{,}44 - 30} = 109{,}2 \text{ m},$$

was mit der Bedingung als genügend übereinstimmend anzusehen ist.

Gemäss der bestimmten Temperaturen ist nun:

$$4\,(93^2 - 64{,}44^2) = 17\,986,$$
$$5\,(93^2 - 73{,}96^2) = 15\,895,$$
$$5\,(93^2 - 82{,}29^2) = 9\,387,$$
$$\text{Sa. } 43\,268$$

und somit die erreichbare Geschwindigkeit, da für $v_m = 0{,}12$, $\rho_m = 0{,}0417$ ist:

$$v_m = 0{,}001384 \sqrt{\frac{43\,268}{0{,}0417 \cdot 149}} = 0{,}1155 \text{ m}.$$

Die erreichbare Geschwindigkeit ist um ein ganz Geringes kleiner als die angenommene, der Unterschied ist klein genug um die Rechnung belassen zu können. Würde der Unterschied grösser sein, so müsste die gesammte Rechnung unter Annahme eines kleineren v_m wiederholt werden.

c) **Vertheilung des Wärmerohres in den einzelnen Räumen.** Da die Temperaturen des Wassers beim Ein- und Austritt aus den Räumen bekannt sind, so erfolgt die Berechnung der Rohrlängen nach Gleichung 83.

Die Rohrlänge stellt sich für Raum I:

$$\frac{32{,}2 \cdot 1600}{13\,(73{,}96 - 64{,}44)} \log \frac{73{,}96 - 30}{64{,}44 - 30} = 44 \text{ m},$$

für Raum II:

$$\frac{32{,}2 \cdot 1400}{13\,(82{,}29 - 73{,}96)} \log \frac{82{,}29 - 30}{73{,}96 - 30} = 31 \text{ m},$$

für Raum III:

$$\frac{32{,}2 \cdot 1800}{13\,(93 - 82{,}29)} \log \frac{93 - 30}{82{,}29 - 30} = 34 \text{ m}.$$

Vierzehntes Kapitel.

Hochdruck-Dampfheizung.

(S. Tafel XIV.)

I. Anordnung.

Die Dampfheizung gründet sich auf die Benutzung der bei Kondensation von Dampf frei werdenden latenten Wärme.

In Folge der durch Erwärmung von Wasser über 100° innerhalb eines geschlossenen Heizkörpers zu erzielenden Dampfspannung und in Folge der ziemlich bedeutenden Wärmemengen, welche bei Kondensation des Dampfes frei werden (s. Tabelle 18), ist es möglich, auf weite Entfernungen grosse Wärmemengen zu überführen und daselbst nutzbar zu machen.

Aehnlich wie bei der Wasserheizung besteht eine Dampfheizung aus den Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Heizflächen und aus den Leitungsröhren für Dampf und Niederschlagswasser.

Die Leitungsröhren für Dampf können niemals vor Wärmeabgabe derartig geschützt werden, dass sich nicht auch in ihnen Dampf kondensirt, also Niederschlagswasser bildet. Der Dampf hat das Bestreben, das letztere mit fortzureissen. Ist die Möglichkeit nicht vorhanden, das Wasser mit annähernd gleicher Geschwindigkeit des Dampfes fortzuführen, so entsteht Schlagen und Stossen — es ist daher als Grundsatz aufzustellen, dass die Dampfleitungsröhren mit Gefälle verlegt werden sollen.

Muss von diesem Grundsatz abgewichen werden, so ist an den Stellen, an welchen der Dampf von der fallenden in die steigende Bewegung übergeht, eine Ableitung des Niederschlagswassers zu bewirken. Bei grosser horizontaler Ausdehnung empfiehlt es sich daher häufig, der Dampfleitung eine sägeförmige Anordnung zu geben,

d. h. die Leitung in eine Anzahl längerer mit Gefälle versehener Theilstrecken zu zerlegen — deren Anfang und Ende in je einer von der Höhe des Gefälles von einander entfernten Horizontalen liegen — und das Ende der einen mit dem Anfang der folgenden Theilstrecke durch ein kurzes senkrechtes Rohrstück zu verbinden. Aus dem tiefsten Punkt jeder Theilstrecke ist alsdann das Niederschlagswasser abzuleiten.

Bei dem Anlassen einer Dampfheizung bildet sich naturgemäss das meiste Niederschlagswasser und da dieses alsdann — sofern die Dampfgeschwindigkeit nicht sehr gering ist — verhältnissmässig zu langsam abfliessen kann, ist ein Schlagen in der Anlage nicht zu vermeiden.

Der Eintritt des Dampfes in die Heizkörper hat von oben, die Anordnung der Rohrleitung wie bei Warmwasserheizung zu erfolgen.

Die Anordnung, wie sie Fig. 31 darstellt, ist auch bei Dampfheizung nicht zu empfehlen, d. h. die Dampfleitung und die Leitung für Niederschlagswasser sollen nicht zu einer Rohrleitung vereinigt werden.

Am besten ist es, den Dampf zunächst unmittelbar nach dem Dachboden zu leiten (s. Fig. 29), dort zu vertheilen und nur durch Fallstränge den Heizkörpern zuzuführen — häufig indess zieht man es wegen der billigeren Anlage und leichteren Kontrolle vor, den Dampf im Kellergeschoss zu verteilen (s. Fig. 30), und durch Steigestränge die übereinanderliegenden Heizkörper mit der Vertheilungsleitung zu verbinden.

Um eine grössere Sicherheit des Betriebes bezüglich eintretender Undichtigkeiten zu besitzen, wird die Dampfvertheilungsleitung vielfach in Form eines Rundstrangs, d. h. eines in sich zurückkehrenden Rohres von gleicher Weite hergestellt, so dass der gesammte Dampf entweder von der einen oder anderen Seite oder auch von beiden Seiten in die Vertheilungsleitung eingeführt werden kann.

Das Niederschlagswasser ist zu sammeln und nach einem Reservoir zu leiten, von wo aus es als Speisewasser in die Kessel gedrückt wird.

Ein derartiges Reservoir, am besten aus Eisen (emaillirtes Gusseisen) hergestellt, erhält einen Ueberlauf, Wasserstands-Zeiger und wird mit einem beliebig zu benutzenden unmittelbaren Wasser-Zulauf versehen.

Die Dampfkessel sind dem Gesetze entsprechend im kalten Zustande unter einem Drucke zu prüfen, welcher der doppelten höchsten Dampfspannung während des Betriebes gleichkommt. Die ganze übrige Anlage sollte ebenfalls stets in kaltem Zustande und zwar

unter dem doppelten Betriebsdruck mindestens aber unter einem Drucke probirt werden, welcher einer Dampfspannung von 4—5 Atm. gleichkommt.

II. Ausführung und Bestimmung der einzelnen Theile einer Hochdruck-Dampfheizung.

1. Dampfkessel. Die Dampfkessel für Heizungszwecke unterscheiden sich von denjenigen für industrielle Anlagen durch den ungleichen Dampfverbrauch.

Besonders beim Anlassen der Heizung ist eine bedeutende Dampfmenge, mithin ein ausreichender Wasserinhalt des Kessels nöthig. In Folge dessen eignen sich Kessel mit geringem Wasserinhalt weniger für Dampfheizungen als solche mit grossem Wasserinhalte.

Die Berechnung der Kessel erfolgt nach den Gleichungen für die Stromfläche (s. S. 110); der Transmissionskoeffizient k ist grösser als bei Warmwasserheizung zu nehmen, vermuthlich in Folge der durch Dampfbildung erzeugten raschen Bewegung der einzelnen Wassertheilchen.

Die Dampfkessel werden nur selten von den Fabriken, welche die Heizanlage auszuführen haben, gefertigt, daher soll hier nicht auf die Konstruktion und die verschiedenen Arten der Dampfkessel und deren Ausrüstung eingegangen werden.

Bedeutet:

W_1 die gesammte (nicht stündliche) bis zum Beharrungs-Zustande in den Räumen (vom Anlassen der Heizung, nicht vom Anheizen des Kessels ab gerechnet) erforderliche Wärmemenge,

W_2 die Wärmemenge, welche ein qm Kessel-Heizfläche in der Stunde aufnimmt,

B das Gewicht des Eisens der gesammten Anlage in kg,

ϑ die Temperatur, bis auf welche sich die Anlage über Nacht abgekühlt hat,

t_1 die mittlere Temperatur der Anlage im Beharrungs-Zustande,

Z die Dauer des Anheizens bis zum Eintritt des Beharrungs-Zustandes der Wärme in den Räumen, so setze man die Heizfläche:

$$F = \frac{1{,}1\left\{W_1 + 0{,}12\,B\,(t_1 - \vartheta)\right\}}{W_2\,Z}. \qquad (101)$$

Für Rauchrohr- und ähnliche Kessel nehme man $W_2 = 10\,000$.
Für Röhrenkessel $W_2 = 8000$.

Die stündlich erforderliche Menge an Brennmaterial ist alsdann zu setzen:

$$K = \frac{5,5 \{W_1 + 0,12 \cdot B(t_1 - \vartheta)\}}{3 Z C}, \qquad (102)$$

sofern C die theoretische Wärmemenge, welche beim Verbrennen von 1 kg Brennmaterial erzeugt wird, bedeutet (s. S. 103).

Bezüglich der Rostgrösse s. S. 105.

2. Heizkörper. Jede Dampfheizung ist vor dem Anlassen mit Luft erfüllt, die durch den Dampf zunächst ausgetrieben werden muss. Mischt sich Luft mit Dampf, so kann das Gemisch nicht so viel Wärme an die Heizkörper abgeben als reiner Dampf.

Es ist daher darauf zu achten, dass die Luft beim Anlassen möglichst vollkommen aus der Anlage entfernt wird. Alle bedeutenden Erweiterungen — dies gilt also besonders für die Heizkörper — sind zu vermeiden.

Im Uebrigen sind die Heizkörper in Konstruktion und Gestalt die gleichen wie bei der Warmwasserheizung. Nach dem Gesagten ist einfache Rohrleitung die beste Form der Wärme abgebenden Flächen; Säulenöfen mit durchgezogenen Röhren sind möglichst zu vermeiden.

Die Regelung der Wärmeabgabe durch Ventile gelingt nur in weiteren Grenzen, da der Zufluss des Dampfes von dem Druckunterschied vor und hinter dem Ventil abhängt. Wird das Ventil gedrosselt, so dass also an sich weniger Dampf in den Heizkörper strömen kann, so kondensirt in demselben der eingetretene Dampf um so schneller; dadurch wird aber der Druckunterschied und somit auch die Menge des einströmenden Dampfes gesteigert.

Ist die Verminderung der Dampfspannung im Heizkörper eine zu bedeutende, so tritt durch die Leitung des Niederschlagswassers Dampf in den Heizkörper. Um diesem Uebelstande vorzubeugen, wendet man häufig, statt der gewöhnlichen Ventile, Rückschlags-Ventile an, welche sich nur bei einem gewissen, bei manchen Konstruktionen beliebig einzustellenden Ueberdruck im Heizkörper öffnen. Der erforderliche Ueberdruck wird durch eine bestimmte Menge des in dem Heizkörper sich ansammelnden Niederschlagswassers bewirkt. Diese Rückschlags-Ventile verursachen beim Abfliessen des Wassers Geräusch, bedingen ausserdem für das Anlassen, gemäss ihrer Konstruktion, entweder zu öffnende Entlüftungsvorrichtungen an den einzelnen Heizkörpern (Luftschrauben, Lufthähne) oder eine Vorrichtung zur Aufhebung der Rückschlags-Wirkung und sind deshalb nicht empfehlenswerth. Auch selbstthätig wirkende Entlüftungsvorrichtungen. welche nur Luft, aber keinen Dampf aus dem Heiz-

körper austreten lassen, sind wegen des möglichen Versagens mit Vorsicht anzuwenden.

Eine weitere Regelung kann erzielt werden durch Ausschaltung von Heizfläche in Folge Anstauens des Niederschlagswassers. Dieses wird durch entsprechende Einstellung des Abfluss-Ventils bewirkt, erfordert aber sorgfältige Bedienung und dauernde Aufsicht und bringt nur eine sehr allmähliche Verminderung der Wärmeabgabe des Heizkörpers hervor.

Die Regelung durch Isolirmäntel, welche nach Bedarf ganz oder theilweise geöffnet werden, leisten ebenfalls nur in weiteren Grenzen Befriedigendes und sind vom hygienischen Standpunkte nicht zu empfehlen (s. S. 131). Es wird daher die Regelung der Wärmezufuhr nach den Räumen nur durch Anwendung einer Anzahl Heizkörper, welche dem Bedarfe entsprechend Ausschaltung erfahren, allenfalls zufriedenstellend erfolgen können.

Hohe Dampfspannung in den Heizkörpern hat keinen Vortheil, sie ist für den vom Kessel entferntesten zu etwa 0,3 bis 0,5 Atm. Ueberdruck anzunehmen.

Die Berechnung der Heizkörper erfolgt wie bei der Warmwasserheizung unter Annahme der entsprechenden Werthe. In Tabelle 15 sind die verschiedenen Heizkörper bezüglich ihrer Wärmeabgabe enthalten.

3. Rohrleitung.

a) **Ausführung der Rohrleitung.** Im allgemeinen gilt dasselbe bezüglich des Materials und der Ausführung wie das bei der Warmwasserheizung Gesagte (s. diese), nur ist Folgendes noch hinzuzufügen.

Bei Dichtung mittelst Muffen ohne Rechts- und Links-Gewinde sind die Gegenringe nicht nur wünschenswerth, sondern erforderlich; bei Dichtung mit Flanschen soll als Dichtmaterial nicht Gummi, sondern Pappe in Leinöl getränkt, Asbest-Pappe, Kupferdraht oder Kupfergaze u. s. w. verwendet werden.

Der Ausdehnung der Rohre — da dieselbe fast plötzlich erfolgt — ist grosse Sorgfalt zu widmen. Durch Festlegen einzelner Punkte bewirkt man, dass der Ausdehnungsschub nur nach einer Richtung erfolgen kann; dieser muss durch besondere Vorrichtungen („Kompensatoren“) ausgeglichen werden.

Die empfehlenswerthesten Kompensatoren sind genügend grosse und federnde Kupferschleifen oder Kupferbogen, oder die sogenannten „Stopfbuchsenkompensatoren“. Erstere werden, besonders wenn sie nicht genügend gross gemacht werden, mit der Zeit leicht brüchig, letztere erfordern genaue Anordnung und Aufsicht. Die Lagerung der Rohrleitung darf der Bewegung und Ausdehnung nicht hinderlich sein. Durch zweckentsprechende Anordnung der Rohrleitung kann

die Anwendung von Kompensatoren in vielen Fällen umgangen werden, was als Vortheil für die Anlage zu betrachten ist.

Da jederzeit das Niederschlagswasser in den Dampfröhren als eine unwillkommene Beigabe angesehen werden muss, sind diese ganz besonders gut vor Wärmeabgabe zu schützen. Je grösseren Umfang die Röhren besitzen, um so mehr bildet sich Niederschlagswasser; das Verhältniss des Niederschlagswassers zu der geförderten Dampfmenge ist aber um so geringer, je grösser die Geschwindigkeit des strömenden Dampfes ist. Daraus folgt, dass, — um die Wärmeverluste auf ein möglichst geringes Mass herabzudrücken — die Dampfspannung gross, mithin die Durchmesser klein gehalten werden sollen. Niedrige Spannung, also die Anwendung verhältnissmässig weiter Röhren, hat dagegen ebenfalls Vortheile; dieselben bestehen in der grösseren Sicherheit gegen Undichtigkeiten, in der besseren Ausnutzung des Brennmaterials und in dem ruhigeren Arbeiten der Anlage.

Ist ein besonderes Kesselhaus vorhanden, so ist die Spannung in den Kesseln und in der Rohrleitung bis zur Vertheilung im Gebäude nicht zu niedrig (bis etwa 5 Atmosphären) anzunehmen. Die Spannung in dem Vertheilungsstrang soll nicht über $1^1/_2$ bis 2 Atmosphären betragen.

Zur Aenderung der Spannungsverhältnisse in den Rohrleitungen dienen die sogenannten „Dampfdruckreduzirventile"; dieselben müssen im Betriebe eine gute Beaufsichtigung erfahren, da sie sonst leicht versagen.

Während des Betriebes soll am Ende der Niederschlagswasserleitung nur das gebildete Wasser, aber kein Dampf austreten. In der Praxis werden für diesen Zweck häufig die sogenannten „selbstthätigen Niederschlagswasserableiter" angewendet. Es sind 2 verschiedene Arten dieser Ableiter zu unterscheiden.

Die eine Art wird in ihrer Thätigkeit durch die sich bildende Wassermenge, die andere durch die Dampfwärme geregelt. Bei Regelung durch die Wassermenge kann nur Wasser aus den Ableitern austreten, bei Regelung durch die Wärme auch die in der Anlage vor dem Anlassen befindliche Luft. Da beim Anlassen des Dampfes stets für rasche Entfernung der Luft Sorge zu tragen ist, sind die letzteren Ableiter für Heizzwecke, bei sonst gleich guter Konstruktion vorzuziehen. Bei Anwendung der ersteren müssen besondere Entlüftungen der Anlage vorgesehen werden.

Bedürfen die Heizkörper nach Art ihrer Regelung keine besonderen Entlüftungs-Vorrichtungen, so genügt alsdann meist für die Gesammtentlüftung der Anlage ein am Ende der Niederschlagswasserleitung angebrachtes Ventil. Dasselbe kann häufig auch die selbst-

thätigen Wasser-Ableiter recht gut ersetzen, sofern dasselbe nach Entfernung der Luft derartig gedrosselt wird, dass nur Wasser aus der Leitung auszutreten vermag.

Betriebsunterbrechung hat Eintritt von Luft in die Anlage zur Folge; auch selbst wenn keinerlei Lufteintritt vorgesehen wird, füllt sich die Anlage in kurzer Zeit mit Luft. Bei Anwendung dünnwandiger, besonders schmiedeeiserner Heizkörper, welche einem Ueberdruck von aussen nicht widerstehen können, müssen selbstthätige Lufteinströmungs-Ventile vorgesehen werden.

Der strömende Dampf verhindert, dass ein Oxydiren der eisernen Röhren eintritt; Dampfröhren zeigen daher gute Dauerhaftigkeit; die Röhren für Niederschlagswasser dagegen scheinen, wie neuere Erfahrungen lehren, verhältnissmässig rasch durch Rost vernichtet zu werden. Wer derartige Schäden vermeiden will, lasse die Niederschlagswasser-Leitung nur aus kupfernen Röhren herstellen.

b) **Bestimmung der Dampfrohrleitung für den ersten Kostenanschlag.** Für diese dient die Tabelle 16. Man geht bei der Bestimmung stets vom ungünstigsten, d. h. von dem vom Kessel am entferntesten gelegenen Heizkörper aus, nimmt für diesen die Dampfspannung, ausgedrückt in kg pro qm und die Spannungszunahme für einen Meter in der Rohrleitung bis zum Vereinigungs-Punkte des nächsten, d. h. dem Kessel näher liegenden Abzweigs an und sucht alsdann die Spalte, welche den betreffenden Spannungs-Unterschied angiebt, in der Tabelle auf. Die Wärmemenge, welche die Rohrleitung zu fördern hat, ist bekannt, mithin geht man in der Spalte abwärts, bis man auf diejenige Zahl stösst, welche der geforderten Wärmemenge mindestens gleichkommt. Von dieser Zahl horizontal nach links weitergehend, ergiebt sich der erforderliche lichte Durchmesser der Rohrleitung. Die Tabelle gilt für vor Wärmeabgabe möglichst geschützte Röhren.

Naturgemäss kann man auch umgekehrt verfahren und von dem gewünschten Durchmesser ausgehend, die zu befördernden Wärmemengen aufsuchen und für diese dann die Spannungszunahme nach dem Kessel ablesen.

Für nicht zu umfangreiche Anlagen ist die Tabelle auch für die Ausführung genau genug.

c) **Berechnung der Dampfrohrleitung für die Ausführung und den endgültigen Kostenanschlag.*)**

α) Die erforderliche Dampfspannung im Kessel ist zu berechnen; die Rohrdurchmesser (bezw. die Geschwindigkeit des Dampfes) und die Dampfspannung am entferntesten Verbrauchsorte werden angenommen. Vom Kessel aus

*) S. a. H. Fischer, die Erwärmung und Lüftung der Räume.

findet in der Dampfrohrleitung jederzeit eine Abnahme der Dampfspannung in Folge der Wärmeverluste, der Reibung und der einmaligen Widerstände (Richtungsänderungen u. s. w.) statt.

Bezeichnet:

W die Wärmemenge, welche stündlich am Ende einer gleichweiten Rohrleitung verlangt wird in WE,
l die Länge dieser Leitung in m,
d den lichten, D den äusseren Durchmesser der Rohrleitung in m,
v die sekundliche Geschwindigkeit des Dampfes in m,
p_1' die Spannung des Dampfes, ausgedrückt in kg pro qm am Anfang der Leitung, lediglich unter Berücksichtigung der Wärmeverluste und der Reibung,
p_1'' die Spannung des Dampfes, welche durch jeden einmaligen Widerstand in Folge Richtungsänderung, Ventile u. s. w. aufgebraucht wird,
p_1 die Spannung des Dampfes am Anfang der Leitung unter Berücksichtigung aller Widerstände,
p diejenige am Ende der Leitung,
γ die Dichtigkeit des Dampfes,
ξ den Werth für einen einmaligen Widerstand in der Leitung,
a, m und n konstante Zahlen, so setze man:

$$p_1 = p_1' + \Sigma p_1'', \qquad (103)$$

ferner für Röhren, welche vor Wärmeabgabe gut geschützt sind:

$$p_1' = \sqrt{\frac{lW}{md^5}(W + 1100\,Dl) + p^2}, \qquad (104)$$

für Röhren, welche vor Wärmeabgabe nicht geschützt sind:

$$p_1' = \sqrt{\frac{lW}{md^5}(W + 5200\,Dl) + p^2}, \qquad (105)$$

ausserdem:

$$p_1'' = \frac{v^2}{2g}\gamma\xi = \left(\frac{W}{nd^2}\right)^2 \frac{1}{\gamma}\xi, \qquad (106)$$

$$v = \frac{1}{ad^2}\frac{W}{\gamma} \text{ und} \qquad (107)$$

$$d = \sqrt{\frac{1}{av}}\sqrt{\frac{W}{\gamma}}. \qquad (108)$$

Zur Bestimmung der durch jeden einmaligen Widerstand aufgebrauchten Dampfspannung muss streng genommen das an der betreffenden Stelle herrschende v und γ in die Rechnung eingeführt werden. Für die Praxis genügt es aber vollkommen, bei einer gleich-

weiten Rohrleitung das v, welches am Ende der Leitung, das γ, welches am Anfange der Leitung nur unter Berücksichtigung von p_1 herrscht, einzuführen, so dass unter dieser Annahme zu setzen ist:

$$p_1'' = \left(\frac{W}{nd^2}\right)^2 \frac{1}{\gamma} \Sigma\xi \qquad (109)$$

und somit:

Fig. 47a

$$p_1 = p_1' + p_1''. \qquad (110)$$

ξ ist anzunehmen für:

ein rechtwinkeliges Knie	1,
einen Bogen	0,3 bis 0,5,
ein geöffnetes Ventil	0,5 bis 1,
einen geöffneten Hahn	0,3 bis 1,
Bogen von mehr als dem fünffachen Rohrdurchmesser	0.

Zur Erleichterung der Berechnung dienen die Tabellen. Tabelle 18 enthält die Werthe von γ und $\frac{1}{\gamma}$, Tabelle 20 diejenigen von $\frac{1}{md^5}$, $\frac{1}{nd^2}$, $\frac{1}{ad^2}$, 1100 D und 5200 D (die letzten beiden Werthe für schmiedeeiserne Röhren), Tabelle 21 die Werthe von $\sqrt{\frac{1}{av}}$.

Die **praktische Berechnung** einer Anlage hat nun in folgender Weise zu geschehen.

Vom ungünstigsten, d. h. von den vom Dampfkessel am entferntesten gelegenen Heizkörper (A) siehe Fig. 48 wird ausgegangen und der Weg bis zum Kessel in so viele Theilstrecken getheilt, als Rohrleitungen vorhanden sind, welche verschiedene Dampfmengen zu fördern haben. Befindet sich ein Dampfdruck-Reduzirventil in der Leitung, so bildet dieses ebenfalls den Anfang bezw. das Ende einer Theilstrecke. Bei Fig. 48 sind also an Theilstrecken AB, BC, CD und DE vorhanden, oder wenn bei E' ein Dampfdruck-Reduzirventil eingeschaltet ist: AB, BC, CD, DE', $E'E$.

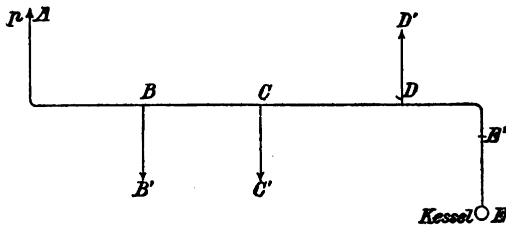


Fig. 48

Die einzelnen Theilstrecken sind nun nacheinander unter An-

nahme des Durchmessers d (oder der Geschwindigkeit und somit mittelbar des Durchmessers d) zu berechnen.

Für den ungünstigsten Heizkörper (A) wird die Dampfspannung p angenommen (nach Früherem zu etwa 13000 bis 15000 kg pro qm), alsdann nach Gleichung 104 (bezw. bei nicht umhüllten Röhren nach Gleichung 105) das p_1' und nach Gleichung 109 das p_1'' und durch Addition beider Werthe das p_1 bei B berechnet. Nunmehr hat dieselbe Berechnung für die übrigen Theilstrecken stattzufinden; für die Spannung am Ende der Theilstrecke BC (also bei B) ist für p in die Gleichung 104 (bezw. 105) nunmehr das berechnete p_1 einzusetzen und das neue p_1 am Anfang der Theilstrecke (bei C) zu bestimmen. Da in der Leitung Dampf kondensirt, so ist die hierdurch verloren gehende Wärmemenge dadurch in Rücksicht zu ziehen, dass am Ende einer jeden Theilstrecke (nach dem Kessel zu gerechnet) die zu fördernde Wärmemenge W sich entsprechend vergrössert hat und zwar bei gut bekleideten Röhren um 1100 Dl, bei nicht bekleideten Röhren um 5200 Dl. Die anderen Abzweigsleitungen (BB', CC', DD') müssen bezüglich der Wärmeverluste ebenfalls berücksichtigt werden; die Durchmesser der entsprechenden Rohrleitungen können zunächst geschätzt d. h. aus Tabelle 16 entnommen werden.

Sofern bei dieser Berechnungsweise im Kessel eine zu hohe oder eine nicht gewünschte niedrige Spannung sich ergiebt, so ist die Wahl der Durchmesser entsprechend zu ändern und die Rechnung von Neuem durchzuführen.

Die Durchmesser der Rohrstränge BB', CC', DD' werden, da die Dampfspannungen bei B, C und D durch die Rechnung bestimmt sind, nach der folgenden unter β angegebenen Art und Weise berechnet. Im allgemeinen empfiehlt es sich überhaupt häufiger, die gesammte Berechnung in der folgenden Weise vorzunehmen.

β) Die erforderliche Dampfspannung im Kessel, sowie die Dampfspannung im entferntesten Heizkörper und deren Zunahme nach dem Kessel zu werden angenommen, die Durchmesser berechnet. Aus Gleichung 104 (bezw. 105) folgt, wenn der Werth von m eingesetzt wird, für Röhren, welche vor Wärmeabgabe gut geschützt sind:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{l\,W}{4\,(p_1'^2 - p^2)}\,(W + 1100\,Dl)}, \tag{111}$$

für Röhren, welche vor Wärmeabgabe nicht geschützt sind:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{l\,W}{4\,(p_1'^2 - p^2)}\,(W + 5200\,Dl)}, \tag{112}$$

Diese Gleichungen sind an und für sich nicht lösbar, da unter dem Wurzelzeichen D vorkommt, welches von dem gesuchten d abhängt. Der Werth von $1100\,Dl$ bezw. $5200\,Dl$ hat indessen einen so geringen Einfluss auf das Ergebniss von d, dass für D einfach d geschätzt oder für umkleidete Röhren besser aus Tabelle 16 entnommen und in die betreffende Gleichung eingeführt werden kann. Nimmt man also die Anfangs- und Endspannung, d. h. p_1' und p an, so lässt sich der dem Wärmeverlust und die Reibung berücksichtigende Durchmesser d ohne weiteres bestimmen. Die einmaligen Widerstände sind in den obigen Gleichungen nicht enthalten und um auch diese zu überwinden, wird streng genommen eine etwas höhere Spannung als p_1', d. h. nach dem Früheren unter α, p_1 erforderlich sein. In der Regel kann man indess — wenn nicht aussergewöhnliche Verhältnisse vorliegen — die einmaligen Widerstände vernachlässigen und statt eines zu bestimmenden p_1 das angenommene p_1' als richtig beibehalten. Meist wird nämlich das berechnete d nicht Handelsmass besitzen und muss deshalb auf solches erhöht werden; sofern nun bei den verschiedenen Theilstrecken einer Anlage grössere und geringere Erhöhungen vorkommen, so decken diese insgesammt fast stets die einmaligen Widerstände. Will man jedoch genauer verfahren, bezw. — was stets zu empfehlen ist — sich Rechenschaft geben, dass durch die Erhöhung des berechneten Durchmessers auf Handelsmass die Ueberwindung der einmaligen Widerstände gesichert wird, so hat man den ermittelten Durchmesser der Rohrleitung, nachdem man p_1'' mit Hilfe der Gleichung 109 berechnet hat, mit

$$\sqrt[5]{\frac{(p_1' + p_1'')^2 - p^2}{p_1'^2 - p^2}} \qquad (113)$$

zu multipliziren, um denjenigen Durchmesser zu finden, welcher bei dem angenommenen p_1' sämmtlichen Widerständen genügt. Die nothwendige Abrundung auf Handelsmass würde gestatten, die angenommene Spannung p_1' zu verringern, will man dieses thun und sie mithin berechnen, so hat man alsdann die erforderliche Spannung nach dem unter α gegebenen Verfahren für den auf Handelsmass abgerundeten Durchmesser zu ermitteln. Erhöht man die für das angenommene p_1' berechneten Durchmesser ohne den Einfluss der Abrundung auszugleichen, so wird man in Wirklichkeit gegen das Ende der Leitung zu eine etwas grössere Spannung als man angenommen hatte, erhalten. In den meisten Fällen ist dies ohne Belang.

Die praktische Rechnung gestaltet sich sehr einfach. Man nimmt zunächst für die ganze Strecke vom ungünstigsten Heizkörper an bis zum Kessel die Spannungszunahme (oder auch umgekehrt vom Kessel bis zum entferntesten Heizkörper die Spannungsabnahme) an und

berechnet mit Hilfe der Gleichungen 111 (bezw. 112) die erforderlichen Durchmesser, erhöht dieselben auf Handelsmass und stellt, wenn sehr geringe Erhöhungen nothwendig oder vielfache einmalige Widerstände vorhanden sind, die oben angegebene Korrektionsrechnung für die Durchmesser an. Die übrigen Zweigleitungen werden genau in derselben Weise unter Annahme der Spannungsabnahme von der Abzweigstelle bis zum Verbrauchsort bestimmt.

d) **Beispiele für Berechnung einer Dampfrohrleitung.** Die Anordnung der Anlage sei durch Fig. 49 gekennzeichnet. Vom Kessel *H* soll der Dampf, nachdem er bei *G* ein Dampfdruck-Reduzirventil passirt hat, nach dem Dachboden des Gebäudes geleitet, dort nach rechts und links vertheilt werden. Die rechte Seite sei die ungünstigere, d. h. der Heizkörper bei *A* möge der vom Kessel am entferntesten gelegene sein.

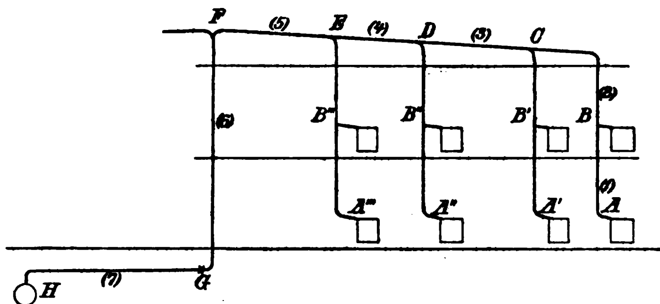


Fig. 49

Vorhanden sind für die erste Berechnung 7 Theilstrecken: *AB*, *BC*, *CD*, *DE*, *EF*, *FG*, *GH*.

Gegeben sei:

Wärmemenge eines jeden Heizkörpers: 5000 *WE*,

Wärmemenge, welche von *F* aus nach der linken Seite geschickt werden soll: 52 924 *WE*.

Länge	*l*	der Theilstrecke	1 . . .	6 m,
"	*l*	" "	2 . . .	20 m,
"	*l*	" "	3 . . .	40 m,
"	*l*	" "	4 . . .	30 m,
"	*l*	" "	5 . . .	50 m,
"	*l*	" "	6 . . .	16 m,
"	*l*	" "	7 . . .	54 m,
"	$CB' = DB'' = EB''' =$		. . .	5 m,
"	$B'A' = B''A'' = B'''A''' =$		. .	6 m.

Entfernung *B* (bezw. B', B'', B''') vom Heizkörper 1 m.

Einmalige Widerstände $\Sigma\xi$ der Theilstrecke 1 . . 3,
" " " " " 2 . . 4,
" " " " " 3 . . 0,
" " " " " 4 . . 0,
" " " " " 5 . . 5,
" " " " " 6 . . 1,
" " " " " 7 . . 4.

Dampfspannung im Heizkörper A: 15 000 kg pro qm.

Sämmtliche Röhren bestehen aus Schmiedeeisen und sollen vor Wärmeabgabe gut geschützt sein.

Beispiel 1. Die erforderliche Dampfspannung im Kessel ist zu berechnen; die Rohrdurchmesser (bezw. die Geschwindigkeit des Dampfes) und die Dampfspannung am entferntesten Verbrauchsort (15 000 kg pro qm) werden angenommen.

Lösung der Aufgabe.

Theilstrecke 1. Es ist:

$$W = 5000, \quad l = 6, \quad p = 15\,000, \quad \Sigma\xi = 3.$$

Gewählt wird $d = 0{,}013$ m, mithin ist nach Tabelle 20:

$$D = 0{,}021, \quad \frac{1}{m d^5} = 0{,}0673 \text{ und } \frac{1}{n d^2} = 0{,}000908.$$

Nach Gleichung 104 ergiebt sich:

$$p_1' = \sqrt{0{,}0673 \cdot 6 \cdot 5000\,(5000 + 1100 \cdot 0{,}021 \cdot 6) + 15\,000^2} = 15\,342 \text{ kg}.$$

Nach Tabelle 18 ist für 15 342 kg: γ angenähert 0,88, $\frac{1}{\gamma} = 1{,}189$, also nach Gleichung 109:

$$p_1'' = (5000 \cdot 0{,}000908)^2\, 1{,}139 \cdot 3 = 70 \text{ kg},$$

daher nach Gleichung 110:

$$p_1 = 15\,342 + 70 = 15\,412 \text{ kg pro qm}.$$

Theilstrecke 2. Es ist bei B an Wärmemenge zu liefern:

$W = 5000 + 5000$ (für 2 Heizkörper bei A u. B) $+ 1100 \cdot 0{,}021 \cdot 6$ (Wärmeverlust in der Leitung von B bis Heizkörper bei A) $+ 1100 \cdot 0{,}021 \cdot 1$ (Wärmeverlust in der Leitung von B bis Heizkörper bei B) $= 10\,162$ WE; ferner ist:

$$l = 20, \ p = 15\,412, \ \Sigma\xi = 4.$$

Gewählt wird $d = 0{,}019$, mithin ist nach Tabelle 20:

$$D = 0{,}027, \quad \frac{1}{md^5} = 0{,}0101 \text{ und } \frac{1}{nd^2} = 0{,}000425.$$

Nach Gleichung 104 ergiebt sich:

$$p_1' = \sqrt{0{,}0101 \cdot 20 \cdot 10162\,(10162 + 1100 \cdot 0{,}027 \cdot 20) + 15412^2} = 16112 \text{kg}.$$

Nach Tabelle 18 ist für 16 112 kg: γ angenähert 0,92, $\frac{1}{\gamma} = 1{,}09$, also nach Gleichung 109:

$$p_1'' = (10\,162 \cdot 0{,}000\,425)^2\, 1{,}09 \cdot 4 = 81 \text{ kg},$$

daher nach Gleichung 110:

$$p_1 = 16\,112 + 81 = 16\,193 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 3. Es ist bei C an Wärmemenge zu liefern:

$W = 10\,162$ (die Wärmemenge bei B) $+ 1100 \cdot 0{,}027 \cdot 20$ (Wärmeverlust in der Leitung BC) $+ 1100 \cdot 0{,}027 \cdot 5$ (Wärmeverlust in der Leitung CB') $+ 1100 \cdot 0{,}021 \cdot 6$ (Wärmeverlust in der Leitung $B'A'$) $+ 1100 \cdot 0{,}021 \cdot 1$ (Wärmeverlust in der Leitung B' bis Heizkörper bei B) $+ 10\,000$ (die Wärmemenge der Heizkörper bei B' und A') $= 21\,066$ *WE*, ferner ist: $l = 40$, $p = 16\,193$, $\xi = 0$.

Gewählt wird $d = 0{,}025$ m.

Alles übrige gemäss der Handhabung bei Theilstrecke 1 und 2.

Es ergiebt sich:

$$p_1' = \sqrt{0{,}0026 \cdot 40 \cdot 21\,066\,(21\,066 + 1100 \cdot 0{,}033 \cdot 40) + 16193^2} = 17\,651 \text{kg},$$
$$p_1'' = 0.$$

Theilstrecke 4. Für diese ist:

$$W = 32\,828,\; l = 30,\; p = 17\,651,\; \xi = 0,$$

also nach Wahl von

$$d = 0{,}032 \text{ m},$$

$$p_1' = \sqrt{0{,}00075 \cdot 32828 \cdot 30\,(32828 + 1100 \cdot 0{,}041 \cdot 30) + 17651^2} = 18\,352 \text{kg},$$
$$p_1'' = 0.$$

Theilstrecke 5. Für diese ist:

$$W = 44\,491,\; l = 50,\; p = 18\,352,\; \xi = 5$$

und ergiebt sich bei Wahl von $d = 0{,}038$ m:

$$p_1' = 19\,243,\; p_1'' = 111,$$
also: $p_1 = 19\,354$ kg pro qm.

Theilstrecke 6.

Von F ist an Wärmemenge zu fördern:

nach rechts . . $44\,491 + 1100 \cdot 0{,}047 \cdot 50 =$	47 076
nach links	52 924
Sa.	100 000 *WE*

Es ist also:

$$W = 100\,000,\ l = 16,\ p = 19\,354,\ \xi = 1$$

und bei Wahl von $d = 0{,}051$ m:

$$p_1' = 19\,655,\ p_1'' = 31,$$

also: $p_1 = 19\,686$, mithin annähernd 1 Atmosphäre Ueberdruck.

Theilstrecke 7. Vor dem Dampfdruck-Reduzirventil soll eine höhere Spannung herrschen und zwar möge $p = 38\,000$ kg betragen.

$$W \text{ ist } = 100\,908\ WE,\ l = 54,\ \xi = 4,$$

daher ergiebt sich, wenn $d = 0{,}038$ m gewählt wird:

$$p_1' = 40\,309,\ p_1'' = 222,\ p_1 = 40\,531 \text{ kg.}$$

Im Kessel herrscht somit eine Dampfspannung von rund 3 Atmosphären Ueberdruck.

Die Durchmesser der Dampfstränge CA', DA'', EA''' werden nach dem folgenden Beispiel 2 unter Annahme der Spannungsabnahme von C, D und E nach A' bezw. A'' bezw. A''' bestimmt.

Beispiel 2. Die erforderliche Dampfspannung im Kessel, sowie die Dampfspannung im entferntesten Heizkörper und deren Zunahme nach dem Kessel zu werden angenommen, die Durchmesser berechnet.

Lösung der Aufgabe. Es betrage nach Annahme:

Die Spannungszunahme von dem vom Kessel entferntest gelegenen Heizkörper bei A bis zum Dampfdruck-Reduzirventil für den laufenden Meter 50 kg pro qm, die Dampfspannung hinter dem Reduktionsventil 46 000 kg pro qm, diejenige im Kessel 50 000 kg pro qm. Es ergeben sich alsdann die Anfangs- und Endspannungen für die Theilstrecken und die Differenz aus den Quadraten dieser Spannungen aus folgender Zusammenstellung:

	p_1'	p	$p_1'^2 - p^2$
Theilstrecke 1 (B bis A)	15 300	15 000	9 090 000
„ 2 (C „ B)	16 300	15 300	31 600 000
„ 3 (D „ C)	18 300	16 300	69 200 000
„ 4 (E „ D)	19 800	18 300	57 150 000
„ 5 (F „ E)	22 300	19 800	105 250 000
„ 6 (G „ F)	23 100	22 300	36 320 000
„ 7 (H „ G)	50 000	46 000	384 000 000

Theilstrecke I. Es beträgt für diese:

$$W = 5000,\ l = 6,\ \Sigma\xi = 3.$$

Nach Tabelle 16 wird für eine Spannungszunahme von 50 kg für den laufenden Meter ein Durchmesser von voraussichtlich über 0,013 m erforderlich werden. *D* ist mithin für einen Durchmesser von $d = 0{,}019$ m zu 0,027 m anzunehmen. Alsdann ergiebt sich nach Gleichung 111:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{6 \cdot 5000\,(5000 + 1100 \cdot 0{,}027 \cdot 6)}{4 \cdot 9\,090\,000}} = 0{,}0134 \text{ m.}$$

Die Schätzung von *d* nach der Tabelle 16 war richtig.

$\Sigma\xi = 3$ ist in dem berechneten Durchmesser noch nicht berücksichtigt. Unter Annahme eines Durchmessers von $d = 0{,}013$ m ergiebt Gleichunng 109:

$$p_1'' = (0{,}000\,908 \cdot 5000)^2\, 1{,}127 \cdot 3 = 70.$$

Die Anfangsspannung müsste daher eigentlich nicht zu 15 300, sondern nahezu zu 15 370 kg angenommen worden sein; diese Spannung angenommen, würde der Durchmesser nicht 0,0134 m, sondern nach Ausdruck 113:

$$d = 0{,}0134 \sqrt[5]{\frac{15\,370^2 - 15\,000^2}{9\,090\,000}} = 0{,}014 \text{ m}$$

betragen.

Im vorliegenden Fall kann jedoch ohne Bedenken $d = 0{,}013$ m gesetzt werden, sofern man nur gestattet, dass bei Eintritt des Dampfes in den Heizkörper eine etwas geringere Dampfspannung als 15 000 kg pro qm herrscht.

Theilstrecke 2. Es beträgt für diese:

$W = 5000$ (Heizkörper bei *A*) + 5000 (Heizkörper bei *B*) + $1100 \cdot 0{,}021 \cdot 6$ (Wärmeverlust der Theilstrecke 1) + $1100 \cdot 0{,}021 \cdot 1$ (Wärmeverlust der Strecke *B* bis zum Heizkörper) = 10 192 *WE*; $l = 20$, $\Sigma\xi = 4$.

Nach Tabelle 16 wird *d* zu 0,019 m geschätzt, da der in der Tabelle angegebene Werth nur sehr wenig kleiner ist als der geforderte, mithin wird *D* zu 0,027 m angenommen.

Es ist alsdann:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{20 \cdot 10\,162\,(10\,162 + 1100 \cdot 0{,}027 \cdot 20)}{4 \cdot 31\,600\,000}} = 0{,}0177 \text{ m.}$$

Die Schätzung war eine richtige. Soll $\Sigma\xi = 4$ bezüglich des Durchmessers berücksichtigt werden, so ist zu setzen nach Gleichung 109:

$$p_1'' = (0{,}000425 \cdot 10\,162)^2\, 1{,}08 \cdot 4 = 81,$$

also wird nach Ausdruck 113:

$$d = 0{,}0177 \cdot \sqrt[5]{\frac{(16\,300 + 81)^2 - 15\,300^2}{31\,600\,000}} = 0{,}018 \text{ m,}$$

mithin werden durch die nothwendige Erhöhung des zuerst berechneten $d = 0{,}0177$ auf 0,019 m als Handelsmass die einmaligen Widerstände vollkommen gedeckt.

Theilstrecke 3. Es beträgt für diese:

$W = 10\,162$ (von Theilstrecke 2) $+ 1100 \cdot 0{,}027 \cdot 20$ (Wärmeverlust in der Leitung BC) $+ 1100 \cdot 0{,}027 \cdot 5$ (Wärmeverlust in der Leitung CB') $+ 1100 \cdot 0{,}021 \cdot 6$ (Wärmeverlust in der Leitung $B'A'$) $+ 1100 \cdot 0{,}021 \cdot 1$ (Wärmeverlust in der Leitung B' bis zum Heizkörper bei B) $+ 10\,000$ (die Wärmemenge der Heizkörper bei B' und A') $= 21\,066\,WE$, $l = 40$, $\Sigma\xi = 0$.

Es ist alsdann, wenn (nach Tabelle 16) d, da der vorhergehende Durchmesser etwas zu gross ist, ferner die Spannung schon mehr als 20 000 kg angewachsen ist und 21 066 nicht bedeutend von 19 800 abweicht $= 0{,}025$ m, also $D = 0{,}033$ m geschätzt wird:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{40 \cdot 21\,066\,(21\,066 + 1100 \cdot 0{,}033 \cdot 40)}{4 \cdot 69\,200\,000}} = 0{,}0233 \text{ m},$$

was — da d auf 0,025 (Handelsmass) erhöht werden muss — mit der Schätzung übereinstimmt.

Theilstrecke 4. Es beträgt für diese:

$$W = 32\,828, \quad l = 30, \quad \Sigma\xi = 0.$$

Nach Tabelle 16 wird geschätzt: $d = 0{,}032$, also $D = 0{,}041$ m und ergiebt sich:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{30 \cdot 32\,828\,(32\,828 + 1100 \cdot 0{,}041 \cdot 30)}{4 \cdot 57\,150\,000}} = 0{,}0271 \text{ m},$$

was mit der Schätzung übereinstimmt, da 0,0271 m kein Handelsmass ist und auf 0,032 m erhöht werden muss.

Theilstrecke 5. Es beträgt für diese:

$$W = 44\,491, \quad l = 50, \quad \Sigma\xi = 5.$$

Nach Tabelle 16 wird geschätzt (da die Spannungszunahme bei F bereits 20 000 kg überschritten hat) $d = 0{,}032$, also $D = 0{,}041$ und ergiebt sich:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{50 \cdot 44\,491\,(44\,491 + 1100 \cdot 0{,}041 \cdot 50)}{4 \cdot 105\,250\,000}} = 0{,}0301 \text{ m}.$$

Unter Berücksichtigung von $\Sigma\xi = 5$ ist:

$$p_1'' = (44\,491 \cdot 0{,}00015)^2\, 0{,}8 \cdot 5 = 178{,}2,$$

das wirkliche d also $= 0{,}0301 \sqrt[5]{\frac{(22\,300 + 178{,}2)^2 - 19\,800^2}{105\,250\,000}} = 0{,}0305$ m

d. h. mit Erhöhung des berechneten Durchmessers von $d = 0{,}0301$ auf 0,032 m als Handelsmass sind die einmaligen Widerstände vollkommen mit gedeckt.

Theilstrecke 6. Es beträgt für diese:

$$W = 99\,670,\ l = 16\ \text{m},\ \Sigma\xi = 1.$$

Nach Tabelle 16 wird geschätzt $d = 0{,}045$ m, also $D = 0{,}055$ und ergiebt sich:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{16 \cdot 99\,670\,(99\,670 + 1100 \cdot 0{,}055 \cdot 16)}{4 \cdot 36\,320\,000}} = 0{,}0406\ \text{m}.$$

$\Sigma\xi = 1$ ist zu vernachlässigen.

Theilstrecke 7. Es beträgt für diese:

$$W = 100\,638,\ l = 54\ \text{m},\ \Sigma\xi = 4.$$

Nach Tabelle 16 wird, da alle vorhergehenden Durchmesser etwas zu gross sind und 100 638 nicht zu bedeutend 89 000 übersteigt, $d = 0{,}038$, also $D = 0{,}047$ m geschätzt und ergiebt sich:

$$d = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{54 \cdot 100\,638\,(100\,638 + 1100 \cdot 0{,}047 \cdot 54)}{4 \cdot 384\,000\,000}} = 0{,}0326\ \text{m}.$$

Aus dem vorstehenden Beispiel ersieht man, dass wenn nicht ganz besondere Verhältnisse vorliegen, eine genaue Berechnung der Durchmesser umgangen und zur Bestimmung derselben nur Tabelle 16 benutzt werden kann. Im allgemeinen wird sich die dem letzten Beispiele zu Grunde gelegte Berechnungsart für die Praxis am meisten empfehlen.

e) **Bestimmung der Leitung für das Niederschlagswasser.**

1 cbm Dampf von 100° wiegt 0,6059 kg, 1 cbm Wasser von 100° wiegt ca. 958 kg, der Dampf von 100° nimmt also 1581 mal soviel Raum ein als Wasser von derselben Temperatur.

Trotz dieser bedeutenden Unterschiede können die Durchmesser der Rohrleitung nicht entsprechend klein gewählt werden, da für Bestimmung der Dampfleitung stillschweigend angenommen worden ist, dass das Niederschlagswasser von selbst abfliesst, also keinen Widerstand der Bewegung des Dampfes entgegensetzt.

Von dieser Annahme ausgehend müssten die Durchmesser berechnet werden, indess geschieht dies in der Praxis nicht, ist auch nicht erforderlich, da die Röhren schon aus dem Grunde schneller Entlüftung weiter gemacht werden müssen, als zur Ableitung des Niederschlagswassers allein erforderlich wäre.

Wünschenswerth ist es, dass die Durchmesser zu den Durchmessern der Dampfzuleitung in einem gleichbleibenden Verhältniss

stehen. Ist d der lichte Durchmesser des Dampfrohres, d_1 derjenige des zugehörigen Rohres für Niederschlagswasser, so zetze man:

$$d_1 = (0{,}5 \text{ bis } 0{,}7)\, d. \qquad (114)$$

Eine Ausnahme von dieser Regel machen in der Praxis die Durchmesser der zu engen Dampfrohrleitungen (0,01 bis 0,025 m) gehörigen Niederschlagswasser-Leitungen.

Tabelle 22 enthält die für bestimmte Wärmemengen anzuwendenden Durchmesser der Niederschlagswasser-Leitung.

Fünfzehntes Kapitel.

Niederdruck-Dampfheizung.

(S. Tafel XV und XVI.)

I. Anordnung.

Die Anordnung ist im allgemeinen dieselbe wie die der Hochdruck-Heizung; nur insofern als die Dampfspannung eine sehr geringe ist, sind einzelne der Anlage zum Vortheil gereichende Abweichungen möglich.

Bei der Hochdruck-Heizung ist es erwünscht, den Dampf zunächst nach dem höchsten Punkte des Gebäudes zu führen und von dort stetig fallend zu vertheilen, bei der Niederdruck-Heizung kann ohne Schaden für den Betrieb, die Vertheilung im Keller erfolgen. Mitunter wird für die Rückführung des Niederschlagswassers keine besondere Leitung angeordnet; alsdann fliesst das Wasser dem Dampfe entgegen. Zu empfehlen ist diese Ersparniss nicht, da Stösse in der Leitung leicht eintreten können.

Für den Fall der Ausführung sollen wenigstens die Röhren stets geneigt, nicht senkrecht geführt werden, damit das Niederschlagswasser im wesentlichen nur an der einen Seite der Rohrleitung abfliesst.

Das Niederschlagswasser kann unmittelbar wieder in den Kessel zurückgeführt werden, sofern der höchste Wasserstand in demselben um ein Geringes, d. h. um mindestens die Höhe des Druckverlustes, ausgedrückt in der Höhe einer Wassersäule, tiefer als die Sohle der niedrigsten Heizkörper steht.

Die Entlüftung der Anlage beim Anlassen, wenn solche erfolgen soll (s. später) hätte alsdann durch ein besonderes Ventil an einer möglichst tiefen, jedoch über dem höchsten Wasserstand im Kessel gelegenen Stelle der Niederschlagswasser-Leitung zu erfolgen, da indess bei dieser Anordnung mit der Luft leicht noch Niederschlagswasser entweicht, verlegt man die Entlüftung eventuell mittelst eines Abzweigs meist an die höchste Stelle des Kellers. Es ist auch möglich, die Luft überhaupt garnicht aus der Anlage zu entfernen, sondern sie nur durch den Dampfdruck nach einem festen Gefäss oder einer schwimmenden Glocke (Gasometerglocke) verdrängen zu lassen (System Käuffer), von welcher sie alsdann nach Verminderung der Dampfspannung zurücktritt. Bezweckt wird hierdurch die Regelung der Wärmeabgabe der Heizkörper (s. d.) und das Beibehalten derselben Luft in der Anlage behufs geringeren Rostens der Röhren. In wie weit der letzte Zweck erreicht wird, ist noch nicht erwiesen.

Mit grösserer Sicherheit ist eine gute Erhaltung der Rohrleitung zu erzielen, wenn (wie bereits bei der Hochdruckheizung erwähnt) als Material für die Niederschlagswasser-Leitung nicht Eisen, sondern Kupfer gewählt wird.

Nach Fertigstellung der Anlage ist dieselbe mit Wasser zu füllen und unter einem Drucke, welcher im Kessel etwa 3 Atm. gleichkommen soll, zu prüfen.

II. Ausführung und Bestimmung der einzelnen Theile einer Niederdruck-Dampfheizung.

1. Dampfkessel. Die Dampfkessel müssen dem Gesetze entsprechend „mit einem unverschliessbaren, in den Wasserraum hinabreichenden Standrohr von nicht über 5 m Höhe und mindestens 8 cm Weite oder durch eine andere von der Centralbehörde des Bundesstaats genehmigte Sicherheits-Vorrichtung verbunden sein."

Die Kessel werden alle mit Schüttfeuerung ausgeführt und, da die Bedienung bei der geringen Dampfspannung eine sehr erschwerte sein würde, mit Vorrichtungen zur selbstthätigen Regelung der Verbrennung verbunden.

Diese selbstthätigen Regeler beruhen auf der Steigerung oder Verminderung des Verbrennungsprozesses je nach Unter- oder Ueberschreiten der angenommenen zulässigen Dampf-Spannung.

Diese Steigerung oder Verminderung wird erzielt durch Regelung des Luftzutritts zu dem Brennmaterial, und zwar entweder unmittelbar, oder mittelbar durch Regelung des Abzugs der Verbrennungsgase, bezw. durch Einlassen von Luft in den Schornstein. Ein vollständiger Abschluss der Verbrennungsgase darf niemals eintreten können.

Häufig werden beide Regelungsarten gemeinsam verwendet. Die unmittelbare Einwirkung auf den Luftzutritt ist der mittelbaren vorzuziehen, doch setzt sie voraus, dass keinerlei Fugen in der Feuerungsanlage, durch welche Luft eindringen kann, vorhanden sind.

Die besten selbstthätigen Regeler sind diejenigen, welche die wenigsten beweglichen Theile besitzen. Bewegliche Theile schliessen häufig nicht die Möglichkeit rascher Abnutzung oder des Versagens aus.

Die Dampfspannung im Kessel wird selten über 0,3 Atmosphären meist aber darunter angenommen; wenn man Stossen in der Anlage oder Geräusch des eintretenden Dampfes mit Sicherheit vermeiden will, so soll man nicht über 0,15 Atmosphären hinausgehen.

Die Vorrichtungen zur selbstthätigen Regelung der Dampf-Spannung gstatten, sofern die Feuerung für Aufnahme genügender Menge Brennmaterial geeignet ist, auch Nachtbetrieb ohne besondere Bedienung.

Meist werden die Kessel derartig ausgeführt, dass das Feuer zum Theil an der Kesselwandung anliegt. Für diese Heizfläche kann die Wärmeaufnahme eines Quadratmeters zu 18 000 *WE* angenommen werden, für die übrige Heizfläche ist wie bei Hochdruck-Dampfheizung (s. diese) zu rechnen.

Bei ununterbrochenem Betriebe ist alsdann die wirksame Kesselheizfläche in qm zu setzen:

$$F = \frac{1,1\, W}{W_1}, \qquad (115)$$

sofern W die stündliche Wärmemege bedeutet, welche in Folge Transmission der Räume verloren geht, W_1 die Wärmemenge, welche 1 qm Heizfläche stündlich an das Wasser überführt.

2. Heizkörper. Dieselben Heizkörper, welche bei Hochdruckheizung Verwendung finden, werden auch bei Niederdruck angewendet. Ueber die Grösse derselben s. Tabelle 15.

Soll durch die Dampfzuleitung das Niederschlagswasser zurückfliessen, so muss der Dampfeintritt selbstverständlich von unten erfolgen und der Heizkörper selbst für das Anlassen ein Entlüftungsventil, und sofern derselbe nicht vermöge seiner Konstruktion einen äusseren Ueberdruck aushalten kann, auch ein selbstthätiges Lufteinlass-Ventil erhalten.

Sind getrennte Leitungen für Dampf und Wasser vorhanden, so hat der Dampf oben in den Heizkörper einzutreten.

Die Regelung der Wärmeabgabe kann mittelbar durch Isolirmäntel oder unmittelbar durch Ventile erfolgen.

Bei der erstern Art von Regelung, die vom hygienischen Standpunkte keine, vom technischen Standpunkte nur geringe Empfehlung verdient (s. S. 121). sind Absperr-Ventile entbehrlich.

Bei Regelung durch Ventile muss, falls dieselbe sicher gelingen soll, der Gegendruck im Heizkörper ein derartiger sein, dass er an einer durch Einstellen des Ventils bestimmten Stelle gleich dem Dampfdruck wird.

Dieser Gegendruck kann durch Luft oder eine andere Flüssigkeit (Wasser) hervorgebracht werden, die aus dem Heizkörper bei Eintritt des Dampfes, dem Drucke entsprechend, verdrängt wird.

Bei vollgeöffnetem Ventile muss die Dampfspannung gerade genügen, um aus dem Heizkörper die gesammte Flüssigkeit zu verdrängen, bei einer Drosselung des Ventils tritt alsdann, da der Dampf mit der gleichen Spannung den Heizkörper nicht mehr erfüllen kann, die Flüssigkeit der Drosselung entsprechend bis zu einer bestimmten Höhe in denselben zurück und bewirkt somit das Ausschalten eines Theiles der Niederschlags-Fläche.

Die Anwendung der Luft als Flüssigkeit setzt eine möglichst geringe Berührungsfläche zwischen Dampf und Luft im Heizkörper voraus, da sonst eine störende Mischung dieser beiden Gase stattfinden kann.

Die Dampfspannung soll eine möglichst geringe (bis höchstens 0,15 Atmosphären) sein.

Bei Anwendung des Wassers als Flüssigkeit ist meist der Dampfdruck etwas grösser (0,2 bis 0,3 Atmosphären) anzuuehmen, je nach der Höhe der Wassersäule, die den Gegendruck bedingt. Ausser dem auf Seite 223 angeführten Nachtheil wird das Einfrieren der Anlage zur Möglichkeit.

3. Rohrleitung. Ueber die Rohrleitung und deren Berechnung gilt dasselbe wie bei der Hochdruckdampfheizung, so dass auf diese verwiesen werden kann. Für den Anschlag bezw. für Anlagen, welche nicht besonders verwickelte Rohrleitungen besitzen, kann die Tabelle 17, deren Einrichtung mit Tabelle 16 übereinstimmt, benutzt werden; bezüglich der genaueren Berechnung ist auf die früheren Gleichungen zu verweisen.

Sechzehntes Kapitel.

1. Dampf-Warmwasserheizung.

(S. Tafel XVII.)

Dieselbe findet bei Gebäuden Anwendung, welche durch Warmwasser-Heizung zu erwärmen sind und vermöge ihrer Ausdehnung mehrere getrennte Anlagen erfordern, trotzdem aber nur eine Stelle für die Wärmeerzeugung erhalten sollen.

Es sind alsdann statt der unmittelbar geheizten Kessel solche aufzustellen, in denen das Wasser durch zugeführten Dampf Erwärmung findet.

Die gesammte Anlage zerfällt nach dem Gesagten in eine Warmwasserheizung und eine Dampfheizung, die jede für sich in der früher besprochenen Weise anzuordnen und zu berechnen ist.

Für manche Fälle (z. B. Gebäude, welche wochentags Dampf von einer Fabrik erhalten können), empfiehlt sich die Dampf-Warmwasserheizung auch für kleinere Anlagen, alsdann aber in der Form, dass das Kesselwasser sowohl durch Dampf als durch direktes Feuer erwärmt werden kann.

Die Erwärmung des Wassers durch Dampf soll nicht durch unmittelbare Einführung desselben, sondern mittelbar durch Dampfheizflächen erfolgen. Da die Uebertragung der Wärme des Dampfes an Wasser eine sehr schnelle ist, sind nur verhältnissmässig kleine Heizflächen und somit auch — wenn von der Möglichkeit direkter Beheizung derselben abgesehen wird — kleine Heizkessel für die Warmwasserheizung erforderlich. Die Dampfheizflächen kommen meistens in Form von Röhren zur Anwendung, welche durch den Warmwasserheizkessel geführt werden.

Zur Berechnung der Dampfheizfläche ist die Gleichung 52 und der betreffende Koeffizient auf Seite 128 zu benutzen.

Es empfiehlt sich, die Dampfheizfläche in 2 unabhängig von einander arbeitende Theile zu zerlegen, welche in dem Verhältniss von 1 und 2 zu einander stehen. Es ermöglicht diese Theilung einen wechselnden Betrieb je nach den Wärme-Erfordernissen.

Da der Dampf stets über 100° warm ist, bei einer Warmwasserniederdruck-Heizung aber das Wasser nicht höher als bis auf 80° bis 90° erwärmt werden soll, so ist Vorsicht bezüglich einer Ueberwärmung des Wassers geboten. Zweckmässig sind selbstthätige Regeler, ausserdem aber Alarmvorrichtungen, welche in Thätigkeit treten, sobald die zulässige Temperatur überschritten wird; am einfachsten eignen sich für letztere elektrische Thermometer in Verbindung mit einem Läutewerk.

---

2. Dampf-Wasserheizung.

(S. Tafel XVII.)

Dampf-Wasserheizung wird angewendet, sofern bei grossen Gebäuden nur eine Feuerstelle wünschenswerth erscheint, die Räume besonders rasche Erwärmung erfahren müssen und doch nach Ein-

stellung des Betriebes wirksame Wärmequellen in den Räumen verbleiben sollen.

Zu diesem Zwecke sind 2 Arten von Heizkörpern in Anwendung; die Heizkörper der ersten Art sind zum Theil mit Wasser gefüllt; über demselben tritt der Dampf ein. Es befinden sich in dem Heizkörper ein oder mehrere Ueberlaufrohre zur Ableitung des sich bildenden Niederschlags-Wassers, in welche gleichzeitig der Dampf eintritt und auf diese Weise eine rasche Erwärmung des Wasserinhalts hervorruft.

Die Heizkörper der zweiten Art sind ebenfalls ganz oder zum Theil mit Wasser gefüllt, die Erwärmung desselben erfolgt aber durch Dampfheizflächen, gewöhnlich in Form von Röhren. Während bei den ersteren das Wasser sich immer durch das Niederschlagswasser ergänzt, muss bei den anderen zeitweilig ein Nachfüllen stattfinden.

Eine weitere Ausbildung der letzterwähnten Art Heizkörper besteht in einem mit Wasser gefüllten Körper, welcher oben und unten mit einem geschlossenen und mit Wasser gefüllten senkrechten Rohr in Verbindung steht, durch welches die Dampfleitung hindurchgeführt wird. Es findet dann die Erwärmung des Heizkörpers durch Umlauf des Wassers statt und kann das Dampfrohr mit dem dasselbe umgebenden Wasserrohr ausserhalb des zu erwärmenden Raumes liegen. Diese Anordnung der Dampf-Wasserheizung ist die empfehlenswertheste.

Bei allen Heizkörpern, die ganz oder nahezu ganz mit Wasser gefüllt sind, ist selbstverständlich Sorge zu tragen, dass bei der Erwärmung ein der Ausdehnung entsprechendes Volumen Wasser bezw. Luft austreten kann.

Entweder ordnet man zu diesem Zwecke auf jedem Heizkörper einen Windkessel an, oder verbindet alle Heizkörper mit einem gemeinschaftlichen Windkessel bezw. Ausdehnungsgefäss auf dem Dachboden.

Bis zum Beharrungszustande arbeiten die Heizkörper meist mit Geräusch, ganz besonders die mit unmittelbarem Dampfeintritt. Sie haben ferner den Nachtheil, dass, wenn das Wasser sich erwärmt hat, eine Wärmeregelung nicht mehr möglich und dass die gewünschte Wärmeaufspeicherung nur eine verhältnissmässig geringe ist. Während vor 10 bis 15 Jahren die Dampf-Wasserheizung eine grosse Ausdehnung fand, wird sie gegenwärtig der angeführten Mängel halber verhältnissmässig selten angewendet.

Die Berechnung hat nach derjenigen der Dampfheizung zu erfolgen, nur müssen die Wärmemengen, welche zur Erwärmung des Wassers beim Anheizen nöthig sind, ebenfalls bei der Grössenbestimmung der Dampfkessel berücksichtigt werden.

Siebenzehntes Kapitel.

Luftheizung.

(S. Tafel XVIII bis XXII.)

Mit dem Namen Luftheizung wird diejenige Heizungsanlage bezeichnet, bei welcher die Erwärmung der Räume lediglich durch eingeführte warme Luft erfolgt.

Befindet sich in oder neben einem Raume der zur Erwärmung erforderliche Heizkörper, so wird durch Umgebung desselben mit einem festen Mantel und Hindurchführen der Raumluft durch diesen Mantel an dem Heizkörper vorbei lokale Luftheizung geschaffen, befindet sich der Heizkörper in einem tiefer gelegenen Geschoss, so spricht man von centraler Luftheizung oder kurzweg von „Luftheizung"; das Nachfolgende bezieht sich auf die letztere.

I. Anordnung.

Die Anordnung einer Luftheizungsanlage unterscheidet sich, sofern durch dieselbe gleichzeitig eine Erneuerung der Luft in den Räumen hervorgebracht wird, in keiner Weise von derjenigen einer Lüftungs-Anlage, sodass in dieser Beziehung auf den Abschnitt „Lüftung" verwiesen werden kann.

Insofern eine Erneuerung der Raumluft nicht mit der Luftheizung verbunden sein soll, unterscheidet sie sich von einer Lüftungsanlage lediglich durch die Rückleitung der Abluft nach dem Heizapparat behufs erneuter Erwärmung und Einführung in die Räume. Eine derartige Luftheizung wird mit dem Namen „Circulations-" oder „Umlaufluftheizung" bezeichnet. Sie ist aus hygienischen Gründen nicht zu empfehlen und sollte daher in der Praxis nur für das Anheizen grösserer Räume behufs Ersparniss von Betriebskosten angeordnet und benutzt werden.

II. Bestimmung der einzelnen Grössen bezw. Theile einer Luftheizung.

1. Erforderlicher Luftwechsel in den erwärmten Räumen. Da die Luft Träger der Wärme ist, so erfordert ein jeder Raum zu seiner Erwärmung einen bestimmten Luftwechsel. Die Gleichung für diesen stündlichen Luftwechsel in cbm, ausgedrückt in der Temperatur des Raumes lautet:

$$L = \frac{W(1 + \alpha t)}{0{,}306\,(t' - t)}, \qquad (116)$$

worin W die durch die Luft behufs Erwärmung des Raumes in Kopfhöhe auf t^0 stündlich einzuführende Wärmemenge bei der niedrigsten Aussentemperatur, t' die Einströmungstemperatur der Luft (s. S. 12) bedeutet. Ueber die höchste zulässige Einströmungstemperatur s. S. 25.

Sofern ein bestimmter Luftwechsel für einen Raum vorgeschrieben ist, kann die Temperatur der einströmenden Luft nicht gewählt, sondern muss durch Rechnung bestimmt werden. Die Gleichung dafür lautet:

$$t' = \frac{W(1 + \alpha t)}{0{,}306\,L} + t. \qquad (117)$$

Ergiebt sich t' grösser als die zulässige Einströmungstemperatur, so ist L entsprechend zu vergrössern.

2. Luftmenge, welche am Heizapparat zu erwärmen ist.

a) **Bei vorgeschriebener und gleicher Temperatur der einströmenden Luft für alle Räume.** In diesem Falle ist für einen Raum die stündliche von aussen zu entnehmende und am Heizapparat zu erwärmende Luftmenge

$$L_0 = \frac{L(1 + \alpha t_0)}{1 + \alpha t} = \frac{W(1 + \alpha t_0)}{0{,}306\,(t' - t)}, \qquad (118)$$

wenn t_0 die Temperatur der von aussen entnommenen Luft bedeutet.

Für t_0 ist die niedrigste Temperatur zu wählen, bei welcher der volle Heizeffekt erzielt werden soll; über die Annahme derselben s. S. 23. Die Summe der für jeden Raum berechneten Grösse von L_0 (ΣL_0) bildet die Gesammtmenge der am Heizapparat auf t' zu erwärmenden Luft.

b) **Bei vorgeschriebenem Luftwechsel.** Da die meisten Räume eines Gebäudes nicht gleiche Wärmemenge zu ihrer Erwärmung erfordern, so ist für einen jeden Raum die Temperatur der einströmenden Luft nach Gleichung 117 auszurechnen und alsdann die am Heizapparate zu erwärmende Gesammtmenge von Luft erst zu bestimmen.

Von den für die einzelnen Räume zu berechnenden Einströmungstemperaturen ist die höchste derselben als diejenige anzunehmen, auf welche der Heizapparat einen Bruchtheil der gesammten von aussen zu entnehmenden Luftmenge zu erwärmen hat und von welchem alsdann für jeden einzelnen Raum soviel mit der nicht erwärmten Luft zu mischen ist, dass der vorgeschriebene Luftwechsel erreicht und die erforderliche Wärmemenge gedeckt wird. Ergiebt sich bei der Berechnung der Einströmungstemperaturen für einzelne Räume eine höhere Temperatur als bei Anwesenheit von Personen zulässig

erscheint (s. S. 25), so ist die höchste zulässige Temperatur anzunehmen und den betreffenden Räumen mehr Luft als vorgeschrieben, zuzuführen.

Es beträgt für jeden Raum:

die von aussen überhaupt zu entnehmende Luft:

$$L_0 = \frac{L(1 + \alpha t_0)}{1 + \alpha t}, \qquad (119)$$

der Theil dieser Luft, welcher am Heizapparat auf t_1° zu erwärmen ist:

$$L_1 = \frac{L(1 + \alpha t_0)(t' - t_0)}{(1 + \alpha t)(t_1 - t_0)}, \qquad (120)$$

wenn t' die für jeden Raum besonders berechnete Einströmungstemperatur (Gleichung 117), L den stündlichen Luftwechsel, gegeben in der Raumtemperatur t bedeutet.

ΣL_1 ist alsdann der Bruchtheil von ΣL_0, d. h. der gesammten von aussen mit der Temperatur t_0 zu entnehmenden Luft, welche am Heizapparat auf t_1° erwärmt werden muss.

3. Wärmemenge, welche der Heizapparat zu liefern hat.

a) **Zur Erwärmung der Luft.** Für die niedrigste Aussentemperatur t_0 ist die Wärmemenge zu setzen, sofern für alle Räume gleiche Einströmungstemperatur vorgeschrieben ist:

$$W_1 = 0{,}306 . \Sigma L_0 (t' - t_0), \qquad (121)$$

sofern der Luftwechsel für die einzelnen Räume vorgeschrieben ist, dieselben also verschiedene Einströmungstemperatur erfordern:

$$W_1 = 0{,}306\, \Sigma \left\{ L_1 (t' - t_0) \right\}, \qquad (122)$$

b) **Zur Verdunstung des Wassers.** Die künstliche Befeuchtung der Luft (s. S. 20) erfordert in Folge der nöthigen Ueberführung des Wassers in Dampfform eine bestimmte Wärmemenge, welche, sofern dieselbe nicht auf andere Weise hervorgebracht wird, der Heizapparat zu liefern hat.

Die Wärmemenge znr Verdunstung des Wassers hängt ab, einestheils von der erforderlichen Wassermenge, anderentheils von der Temperatur des Wassers vor der Erwärmung und der Temperatur, unter welcher die Dampfbildung stattfinden muss.

Die Wassermenge in kg berechnet sich nach der Gleichung 12.

Die Wärmemenge W_2 dagegen nach der Gleichung

$$W_2 = AQ, \qquad (123)$$

worin Q die Summe der zur Erwärmung des Wassers von der Anfangstemperatur bis auf die Verdampfungstemperatur und die zur Ver-

dampfung des Wassers erforderliche Wärmemenge bezogen auf 1 kg Wasser (s. Tabelle 19), A die Menge des zu verdunstenden Wassers (s. Gleichung 12) bedeutet.

4. Luftmenge, welche der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist.*) In der Praxis wird meist die Luftmenge, welche bei der ungünstigsten Aussentemperatur t_0 behufs Erwärmung der Räume von aussen entnommen werden muss, auch der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde gelegt. Da die Kanalquerschnitte unter Annahme der höchsten Aussentemperatur, bei welchen noch Erwärmung der Räume erfolgen muss, zu bestimmen sind, so erhält man alsdann zu grosse, den Effekt oft beeinträchtigende Querschnitte.

a) **Der Luftwechsel hat sich lediglich nach der erforderlichen Wärmemenge zu richten.** Für diesen Fall — bei welchem also kein bestimmter Luftwechsel, sondern nur eine nicht zu überschreitende Einströmungstemperatur der Luft für die niedrigste Aussentemperatur vorgeschrieben ist, lege man der Berechnung der Kanalquerschnitte die Luftmenge

$$L' = mL \qquad (124)$$

zu Grunde und zwar in derselben Temperatur, in welcher L gegeben ist.

Es bedeutet m eine aus nachfolgender Aufstellung zu entnehmende Zahl, L den grössten zur Wärmelieferung vor oder bei Benutzung der Räume erforderlichen stündlichen Luftwechsel bei einer Aussentemperatur von $-20°$.

---

*) Die im Folgenden gegebenen Aufstellungen der Werthe m und n bedürfen einer Erklärung. Wenn bei der niedrigsten Aussentemperatur t_0 die einem Raume zur Deckung der Transmission stündlich zuzuführende Wärmemenge mit W und die Einströmungstemperatur der Luft mit t' bezeichnet wird, so muss der stündliche Luftwechsel, gegeben in der Raumtemperatur t betragen:

$$L = \frac{W(1 + \alpha t)}{0{,}306\,(t' - t)}.$$

Bezeichnet W' die bei der höchsten Aussentemperatur t_0' einzuführende Wärmemenge zur Deckung der Transmission, t_1' die Einströmungstemperatur, so ist alsdann der erforderliche stündliche Luftwechsel, gegeben in der Raumtemperatur $t°$:

$$L' = \frac{W'(1 + \alpha t)}{0{,}306\,(t_1' - t)}.$$

Derselbe Kanal dient zur Zuführung dieser Luftmengen; bezeichnet h die Höhe desselben, ferner $R + \Sigma\xi$ die Widerstände, so ist die Geschwindigkeit der Luft in dem Kanal bei t_0 Aussen- und t' Kanaltemperatur:

$$v = \sqrt{\frac{2\,gh\alpha\,(t' - t_0)}{(1 + \alpha t_0)\,(1 + R + \Sigma\xi)}}$$

und bei t_0' Aussentemperatur und t_1' Kanaltemperatur:

Erforderliche Einströmungstemperatur der Luft bei — 20° Aussentemperatur	Raumtemperatur	
	+ 20°	+ 15°
$t' = 36°$	$m = 0{,}714$	$m = 0{,}643$
$= 40°$	$= 0{,}725$	$= 0{,}687$
$= 50°$	$= 0{,}732$	$= 0{,}698$

b) **Der Luftwechsel ist vorgeschrieben.** Wird der vorgeschriebene Luftwechsel mit L_1 bezeichnet, so ist von beiden Werthen:

$$L_1 \text{ und } L' = nL \qquad (125)$$

der grössere anzunehmen. n ist aus der nachfolgenden Aufstellung bei derjenigen höchsten Temperatur t_0' zu entnehmen, bis zu welcher der geforderte Luftwechsel L_1 erzielt werden soll. Sämmtliche Luftmengen verstehen sich in der vorgeschriebenen Raumtemperatur. Die niedrigste Aussentemperatur ist — 20°.

Höchste Aussentemperatur t_0', bis zu welcher der Luftwechsel L_1 erzielt werden soll	Erforderliche Einströmungstemperatur t' zur Deckung der Wärmeverluste bei — 20° Aussen- und + 20° Innentemperatur.		
	$t' = 36°$	$t' = 40°$	$t' = 50°$
$t_0' = 0°$	$n = 0{,}717$	$n = 0{,}721$	$n = 0{,}733$
$= + 5°$	$= 0{,}632$	$= 0{,}638$	$= 0{,}650$
$= + 10°$	$= 0{,}530$	$= 0{,}538$	$= 0{,}547$

$$v' = \sqrt{\frac{2gh\alpha(t_1' - t_0')}{(1 + \alpha t_0')(1 + R + \Sigma\xi)}},$$

also ist:

$$\frac{v}{v'} = \sqrt{\frac{(t' - t_0)(1 + \alpha t_0')}{(t_1' - t_0')(1 + \alpha t_0)}}.$$

Da nun ferner für ein und denselben Kanal bei der gleichbleibenden Raumtemperatur sein muss:

$$\frac{v}{v'} = \frac{L}{L'} = \frac{W(t_1' - t)}{W'(t' - t)},$$

so folgt:

$$\frac{W(t_1' - t)}{W'(t' - t)} = \sqrt{\frac{(t' - t_0)(1 + \alpha t_0')}{(t_1' - t_0')(1 + \alpha t_0)}}.$$

Nimmt man die stündlich transmittirende Wärmemenge proportional der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen an, so ist, da W die Wärmemenge bei — 20° darstellt, bei $t = + 20°$ und $t_0' = 0°$: $W' = 0{,}5\ W$, bei $t = 20°$ und $t_0' = + 10°$: $W' = 0{,}25\ W$, bei $t = 15°$ und $t_0' = 0°$: $W' = \frac{3}{7} W$ u. s. w. Das

Höchste Aussentemperatur t_0', bis zu welcher der Luftwechsel L_1 erzielt werden soll	Erforderliche Einströmungstemperatur t' zur Deckung der Wärmeverluste bei $-20°$ Aussen- und $+15°$ Innentemperatur $t' = 36°$	$t' = 40°$	$t' = 50°$
$t_0' = 0°$	$n = 0{,}684$	$n = 0{,}685$	$n = 0{,}698$
$= + 5°$	$= 0{,}577$	$= 0{,}581$	$= 0{,}592$
$= + 10°$	$= 0{,}436$	$= 0{,}441$	$= 0{,}452$

5. Bestimmung der Temperaturen, welche der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen sind.

a) **Aussentemperatur.** Hat sich der Luftwechsel nur nach der erforderlichen Wärmemenge zu richten, so ist für die Berechnung der Kanalquerschnitte und bei Annahme von L_1 nach Massgabe 4, a (s. auch Fussnote daselbst) die Aussentemperatur

$$t_0 = 0°$$

zu setzen.

Bei vorgeschriebenem Luftwechsel ist die höchste Temperatur für t_0 anzunehmen, bei welcher noch der Luftwechsel erzielt werden soll, also bei Annahme des Luftwechsels nach 4, b

$$t_0 = t_0'$$

zu setzen.

b) **Temperatur der in die Räume strömenden Luft bezw. der Luft im Zuluftkanal.** Bei nicht vorgeschriebenem Luftwechsel bestimmt sich die Einströmungstemperatur aus der Gleichung

---

Verhältniss $\frac{W}{W'}$ und die betreffenden Temperaturen in obige Gleichungen eingeführt, berechnet sich dann t_1', und wenn $\frac{L'}{L} = m$ bezw. $= n$ gesetzt wird, ergeben sich die Werthe von m und n. Auf absolute Genauigkeit können die Ergebnisse keinen Anspruch machen, da nur ein aufsteigender Kanal angenommen und jede Widerstandshöhe bis zu demselben vernachlässigt wurde, und W und W' nicht immer das angenommene Verhältniss besitzen. Indess kann der dabei stattfindende Fehler vernachlässigt werden, weil bei Verwerthung der Ergebnisse für W' noch eine Korrektur eintritt, ausserdem aber eher ein wenig zu weite, als zu enge Kanäle sich ergeben. Bislang wurde in der Praxis gewöhnlich der Luftwechsel L und die höchste Aussentemperatur für Berechnung der Kanäle angenommen, was stets zu weite Kanäle bedingt und bei Luftheizung die genügende Erwärmung der Räume bei niedrigen Aussentemperaturen in Frage stellen kann. Wenn L bestimmt ist, kann L' nur bei bekanntem t_1' berechnet werden, t_1' richtet sich aber nach den Kanalverhältnissen.

$$t' = \frac{W'(1 + \alpha t)}{0{,}306 \cdot L'} + t, \qquad (126)$$

sofern W' die erforderliche Wärmemenge bei 0°, L' den nach 4, a bestimmten Werth, t die Raumtemperatur, in welcher der Luftwechsel gegeben ist, bedeuten.

Bei vorgeschriebenem Luftwechsel ist dieselbe Gleichung für t' zu benutzen, nur ist für W' die erforderliche Wärmemenge bei der höchsten Aussentemperatur, bei welcher der Luftwechsel noch erzielt werden soll und statt L' den nach 4, b ermittelten Werth des in Rechnung zu stellenden Luftwechsels für Berechnung der Kanalquerschnitte (d. h. den grössten Werth zwischen L' und L_1) einzusetzen.

6. Heizapparate.

a) **Feuer-Luftheizung.**

α) Ausführung. Ein jeder Ofen ist befähigt, als Heizapparat einer Feuer-Luftheizung zu dienen. Da indessen meist mehrere Räume gleichzeitig von einer Heizkammer erwärmt werden sollen, so müssen die Feuer-Luftheizapparate eine grössere als die gewöhnliche Form erhalten und werden daher besonders für diesen Zweck konstruirt. Die Grösse der Heizapparate ist an und für sich unbegrenzt, doch ist zu empfehlen, die Heizfläche nicht grösser als zu etwa 30 qm anzunehmen und lieber mehrere Heizapparate nebeneinander aufzustellen, da durch zu grosse Heizapparate bei einem jeweilig geringen Wärmebedarfe unökonomischer Betrieb hervorgerufen wird.

Die Konstruktion der Heizapparate (in der Praxis auch „Kalorifer“ genannt) ist eine sehr mannigfaltige, das Material meistens Gusseisen, selten Schmiedeeisen oder Mauerwerk. Eisen besitzt ein geringes Vermögen zur Wärmeaufspeicherung; gerade bei Luftheizung ist dasselbe aber häufig angebracht und wäre es somit nur erwünscht, wenn bei Konstruktion der Luftheizapparate auf Wärmeaufspeicherung mehr Rücksicht als bisher genommen würde.

Die älteste Form der eisernen Heizapparate bestand in glatten, zu einem horizontalen oder senkrechten Bündel vereinigten gusseisernen Röhren, durch welche die Feuergase kurzer Hand hindurchgeführt wurden. Diese Apparate ergaben eine schlechte Ausnutzung des Brennmaterials, leichtes Glühen und Undichtigkeit in den Fugen. Zur besseren Ausnutzung des Brennmaterials wurden die Heizapparate alsdann in Form von horizontalen übereinander liegenden Rohrzügen ausgebildet und, um das Glühen zu vermeiden, mit Chamotteausfütterung oder äusseren Rippen versehen.

Das Springen der Rohrzüge suchte man durch eine lose Verbindung der einzelnen Rohrzüge zu verhindern, das Undichtwerden durch horizontale nicht fest aufeinander geschraubte, aber gehobelte

Flanschen oder dadurch zu vermeiden, dass man die Verbindungsstellen der Rohrzüge in geeigneter Weise durch Sand abdeckte, welcher gleichzeitig eine Beweglichkeit der Rohrzüge zuliess. Derartige Apparate sind neben anderen Formen vielfach in Anwendung. Fast alle Konstruktionen zeigen das Bestreben, die Apparate aus einer Summe von Elementen zusammenzustellen, um je nach Bedarf und zur Vermeidung von Modellkosten eine grössere oder geringere Heizfläche in Anwendung bringen zu können.

Die Bedingungen für einen sachgemäss konstruirten Apparat sind, abgesehen von der Billigkeit:

> Zusammengedrängte Form; Ausbreitung der Wärme über grosse Flächen; gleichmässige Wärmevertheilung im Heizapparat und der abgegebenen Wärme in den Heizkammern; gutes Umspülen aller Heizflächen von der Luft; Ausdehnungsfähigkeit der einzelnen Theile; geringe Anzahl von Fugen; bequemes Beseitigen des Staubes; leichtes Reinigen von Russ und Asche — letzteres nur von ausserhalb der Heizkammer.

Die Regelung der Verbrennung erfolgt am besten durch Oeffnungen in der dicht schliessenden Aschfallthür, welche durch Schieber beliebig abdeckbar sind und durch Rauchschieber, welche höchstens $^3/_4$ des Rauchkanalquerschnittes abzuschliessen vermögen. Voll abschliessende Rauchschieber sollten ihrer Gefährlichkeit halber, gerade so wie dies bereits bezüglich der früher vielfach angewendeten Ofenklappen geschehen ist, polizeilich verboten werden.

Um Unregelmässigkeiten des Betriebes soweit wie angängig auszugleichen, ist die Verbindung der Apparate mit Schüttfeuerung, geeigneten Falls auch mit einem selbstthätigen Verbrennungsregler zu empfehlen.

Jeder Apparat muss leicht zugänglich sein, die Heizkammer ist daher mit einer entsprechend grossen — und zur Vermeidung von Wärmeverlusten — eisernen Doppelthür auszustatten und müssen sich wenigstens an den 2 Längsseiten des Heizapparats genügend (etwa 1 m) breite Gänge befinden. Kann man von einer Seite zur andern nur durch unbequemes Uebersteigen des Apparates gelangen, so ist die Anordnung zweier Doppelthüren zur Heizkammer zu empfehlen.

Wünschenswerth ist die Erhellung der Heizkammer durch Tageslicht mittelst eingesetzter doppelter Glasscheiben oder durch künstliche Beleuchtung.

Bei Anwendung von Gas ist Sorge zu tragen, dass weder Gas noch die Verbrennungsprodukte in die Heizkammer treten können, d. h. dass das Licht nur durch ein Fenster in die Heizkammer gelangen kann. Bezüglich der sonstigen Ausführung der Heizkammer ist auf den Abschnitt „Lüftung“ S. 36 zu verweisen.

β) Bestimmung der Grösse. Für die Bestimmung der Grösse ist die gesammte Wärmemenge, welche der Heizapparat zu liefern hat, massgebend; dieselbe ist $W = W_1 + W_2$ (s. 3 a und b dieses Kapitels). Bei Feuerluftheizapparaten ist die Wärmeabgabe eine in weiten Grenzen schwankende, sofern der Heizapparat kräftig oder nur mässig in Betrieb genommen wird. Im allgemeinen kann die Wärmeabgabe für geschonte Heizapparate unter Anwendung von:

glatter Heizfläche zu 2000 *WE*
Rippen-Heizfläche zu 1200—1500 „

für einen qm angenommen werden.

Die Temperatur der in die Räume einströmenden Luft soll, wie bereits erwähnt, nicht über 40° (bezw. 50°) hinausgehen. Diese Vorschrift allein giebt noch nicht die Gewähr, dass die Staubtheilchen in der Luft vor Versengen an den Heizflächen bewahrt bleiben und somit die Luft keine Güteverminderung erfährt. Ein kleiner stark angestrengter Heizapparat kann eine gewisse Luftmenge in ihrer Gesammtheit auf die gleiche Temperatur bringen, als ein grosser geschonter Apparat. Nach Fodor soll die Temperatur der Heizfläche möglichst nicht über 100° betragen. Aus den angeführten Gründen, sowie aus ökonomischen Rücksichten sollte jedem Auftragnehmer die höchste zulässige Temperatur der Heizflächen, zum mindesten aber diejenige der abziehenden Rauchgase vorgeschrieben werden. Dies würde dahin führen, dass jeder Fabrikant Versuche über die Wärmeabgabe seiner Heizapparate anstellen müsste.

Für den Beharrungszustand sind für die Rauchgase etwa 160° bis 200°, für die Anheizdauer 250° bis 300° C. zu gestatten.

b) **Wasser- und Dampfluftheizung.**

α) Ausführung. Die Konstruktion der Heizapparate ist im wesentlichen nicht abweichend von der bereits früher bei der Warmwasserheizung bezw. Dampfheizung besprochenen, nur werden dieselben ebenfalls umfangreicher und ohne Rücksicht auf das Aussehen angefertigt. Die Regelung der Wärme kann durch Drosseln bezw. Ausschalten eines Theiles der Heizfläche in zufriedenstellendem Masse erzielt werden. Die Ausnutzung der Wärme ist eine um so grössere, je geringere Höhe die Heizkörper besitzen. Die beste Form der letzteren ist diejenige von Rohrspiralen, jedoch sind die Windungen derselben derartig anzuordnen, dass eine leichte Reinigung von Staub stattfinden kann und die Luft die Röhren gut umspülen muss.

Wasserluftheizung ist mit grosser Vorsicht anzulegen, da die Gefahr des Einfrierens des Wassers, sofern Aussenluft an den Heizkörpern erwärmt werden muss, sehr nahe liegt. Im allgemeinen sollte nur Heisswasserluftheizung, deren Röhren mit einer nicht gefrierbaren Flüssigkeit gefüllt sind, Anwendung finden.

β) Berechnung. Je nach der Höhe und sonstigen Form der Heizkörper ist die Wärmeabgabe eine verschiedene. Für die Praxis genügen die in Tabelle 23 angegebenen Werthe.

7. Beispiele für Berechnung von Luftheizungs-Anlagen.

A. **Der Luftwechsel richtet sich nach der erforderlichen Wärmemenge.**

Beispiel 1. Es sollen 8 Räume mittelst Feuer-Luftheizung auf + 20° erwärmt werden. Bei der für die Grössenbestimmung des Heizapparates in Rechnung zu stellenden niedrigsten Aussentemperatur von — 20°, betrage die stündliche Wärmetransmission des 1. Raumes 4100, des 2. Raumes 4350, des 3., 4. und 5. Raumes je 3800, des 6., 7. und 8. Raumes je 3650 *WE*. Der Luftwechsel soll sich ausschliesslich nach dem Wärmebedarf richten. Die Einströmungstemperatur der Luft darf auch während des Anheizens + 40° nicht übersteigen. Der Besuch der Räume ist ein wechselnder; die Wärmeabgabe der die Räume benutzenden Personen bleibt somit ausser Berücksichtigung. Die Luft in den Räumen soll bei — 20° Aussentemperatur auf 50% gesättigt sein.

Lösung der Aufgabe.

a) **Bestimmung des stündlichen Luftwechsels.** Bei der niedrigsten Aussentemperatur von — 20° darf die Temperatur der in die Räume strömenden Luft + 40° nicht überschreiten. Der Luftwechsel beträgt daher (nach Gleichung 116) ausgedrückt in einer Temperatur von 20° für den

1. Raum $\frac{4100\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 719$ cbm,

2. „ $\frac{4350\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 763$ „ ,

3., 4. und 5. Raum $\frac{3800\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 666$ „ ,

6., 7. „ 8. „ $\frac{3650\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 640$ „ ,

Für den 2. Raum, welcher den grössten Wärmebedarf zeigt, ist ein $\frac{763}{168} =$ 4,5 facher, also einhaltbarer Luftwechsel erforderlich.

(Würde der Luftwechsel nicht einhaltbar sich ergeben haben (s. S. 11), so hätte die Einströmungstemperatur höher angenommen werden müssen.) Der Luftwechsel sämmtlicher Räume beträgt daher 5400 cbm von 20°.

b) **Luftmenge, welche bei — 20° von aussen entnommen und am Heizapparat auf + 40° erwärmt werden muss.** Nach Gleichung 118 ergiebt sich dieselbe zu:

$$L_0 = \frac{5400\,(1 - \alpha \cdot 20)}{1 + \alpha \cdot 20} = 4662 \text{ cbm von } - 20°.$$

c) **Wärmemenge, welche der Heizapparat zu liefern hat.**

α) Zur Erwärmung der Luft. Nach Gleichung 121 ist die erforderliche Wärmemenge:

$$W_1 = 0{,}306 \cdot 4662 \; \{40 - (-20)\} = 85\,594 \; WE.$$

β) Zur Verdunstung des Wassers. Es werde die Sättigung der äusseren Luft bei $-20°$ zu 80% angenommen, also in Gleichung 12 $p_0 = 80$, ausserdem der Bedingung gemäss $p = 50$ gesetzt. Alsdann ist die stündlich in Dampfform der Luft beizufügende Wassermenge (nach Gleichung 12):

$$A = \frac{5400}{100}\left(50 \cdot 0{,}017177 - 80 \cdot 0{,}00106 \; \frac{1 - \alpha \cdot 20}{1 + \alpha\, 20}\right) = 42{,}424 \text{ kg}.$$

Nimmt man zu Zwecken der Verdampfung Wasserleitungswasser an, welches eine Temperatur von 10° besitzt, so müssen 42,424 kg von 10° auf 40° erwärmt und in Dampf von 40° übergeführt werden. Dazu sind (nach Tabelle 19) rund 600 *WE* für 1 kg erforderlich, also ist nach Gleichung 123:

$$W_2 = 42{,}424 \cdot 600 = 25\,454 \; WE.$$

Die gesammte vom Heizapparate zu liefernde Wärmemenge ist somit:

$$W_1 + W_2 = 85\,594 + 25\,454 = 111\,048 \; WE.$$

d) **Grösse des Heizapparats.** Kann bei der zu wählenden Konstruktion des Heizapparats die Wärmeabgabe eines qm Heizfläche zu 1500 *WE* angenommen werden, so ist ein Heizapparat erforderlich von der Oberfläche:

$$F = \frac{111\,048}{1500} = 74{,}032 \backsim 74 \text{ qm}.$$

e) **Luftwechsel, welcher der Berechnung der Kanäle zu Grunde zu legen ist.** Da in der Aufgabe die Einhaltung eines bestimmten Luftwechsels nicht vorgeschrieben ist, so beträgt nach Gleichung 124 der Luftwechsel für Berechnung der Kanalquerschnitte nicht 5400 cbm, sondern da m für diesen Fall nach der Aufstellung (s. S. 231) $= 0{,}725$ zu setzen ist nur:

$$5400 \cdot 0{,}725 = 3915 \text{ cbm von } 20°.$$

f) **Bestimmung der Temperaturen, welche für die Berechnung der Kanalanlage anzunehmen sind.** Die für die Berechnung der Kanalanlage in Rechnung zu stellende Aussentemperatur beträgt, da ein bestimmter Luftwechsel nicht einzuhalten ist, gemäss S. 232 0°. Die stündliche Transmission bei 0°, welche der erforderliche Wärmemenge bei 0° ent-

spricht, betrage für alle Räume im Ganzen: 15 200 *WE*, alsdann ergiebt sich die Einströmungstemperatur nach Gleichung 126

$$t' = \frac{15\,200\,(1 + \alpha\, 20)}{0{,}306 \cdot 3915} + 20 = 33{,}6.$$

Für die Kanalberechnung ist mithin die Aussentemperatur $t_0 = 0°$, die Innentemperatur in Kopfhöhe $t = +20°$ und die Einströmungstemperatur, bezw. die Temperatur in den Zuluftkanälen $t' = +33{,}6$ oder rund 33° zu setzen. Die Kanalberechnung selbst erfolgt genau wie bei den Beispielen für die Lüftungsanlagen. Die Einmündung der Luft wird man nach früher Gesagtem etwa 2 bis 2,5 m über Fussboden anordnen.

Beispiel 2. Die Aufgabe bleibt die im vorigen Beispiel gegebene, nur sollen in jedem Raume sich mindestens stets 10 Personen aufhalten, deren Wärmeabgabe in Rücksicht gezogen werden soll. Die Einströmungstemperatur vor Benutzung der Räume darf 50° betragen.

Lösung der Aufgabe. 10 Personen geben $10 \times 100 = 1000$ *WE* stündlich bei + 20° umgebender Luft ab; die Wirkung der Transmission verringert sich daher bei jedem Raum um 1000 *WE*. Vor Benutzung der Räume (Anheizdauer) kann die Einströmungstemperatur zu 50° angenommen werden, somit beträgt der stündliche Luftwechsel für den I. Raum vor Benutzung:

$$\frac{4100\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 479 \text{ cbm.}$$

bei Benutzung:

$$\frac{(4100 - 1000)\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 544 \text{ cbm.}$$

Der grössere Luftwechsel findet in diesem Falle somit bei Benutzung der Räume statt, also ist dieser für die weitere Berechnung anzunehmen.

Die weitere Rechnung bleibt die gleiche wie im vorigen Beispiel.

B. **Der Luftwechsel ist vorgeschrieben.**

Beispiel 3. Die Aufgabe ist dieselbe wie im Beispiel 1, nur soll in jedem Raume ein stündlicher Luftwechsel von mindetsens 720 cbm, gegeben in der Raumtemperatur von 20°, und zwar bis zu einer Aussentemperatur von 0° erzielt werden. Die Anzahl der Anwesenden ist nicht bekannt und daher nicht zu berücksichtigen.

Lösung der Aufgabe.

a) **Stündlicher Luftwechsel.**

α) Vorgeschriebener Luftwechsel.

$$720 \cdot 8 = 5760 \text{ cbm von } 20°.$$

β) Erforderlicher Luftwechsel zur Deckung der Transmission. Stündliche Transmission bei — 20° Aussentemperatur

30 800 *WE.*

Erforderlicher Luftwechsel:

$$\frac{30\,800\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 5402 \text{ cbm von } 20°.$$

b) **Bestimmung der Temperatur der in die Räume eintretenden Luft bei Benutzung der Räume und — 20° Aussentemperatur.** Die Einströmungstemperatur beträgt gemäss Gleichung 117 für den:

1. Raum $\frac{4100\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 39{,}97°,$

2. „ $\frac{4350\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 41{,}19°,$

3., 4. und 5. Raum $\frac{3800\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 38{,}51°,$

6., 7. und 8. „ $\frac{3650\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 37{,}78°.$

Da 40° die höchste gestattete Einströmungstemperatur ist, so muss der Luftwechsel im 2. Raume auf 763 cbm vergrössert werden.

Der gesammte Luftwechsel beträgt somit bei — 20° nicht 5760, sondern $720 \cdot 7 + 763 = 5803$ cbm von 20°.

c) **Luftmenge, welche während der Benutzung der Räume bei — 20° von aussen zu entnehmen ist.** Dieselbe beträgt:

$$\frac{5803\,(1 - \alpha \cdot 20)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5010 \text{ cbm von } -20°.$$

d) **Luftmenge, welche von den 5010 cbm von — 20° am Heizapparate auf 40° erwärmt werden muss.** Nach Gleichung 120 beträgt dieselbe für den

1. Raum $\frac{720\,(1 - \alpha \cdot 20)\,(39{,}97 + 20)}{(1 + \alpha \cdot 20)\,(40 + 20)} = 621$ cbm,

2. „ $\frac{763\,(1 - \alpha \cdot 20)\,(40 + 20)}{(1 + \alpha \cdot 20)\,(40 + 20)} = 659$ „

3., 4. und 5. Raum $\frac{720\,(1 - \alpha \cdot 20)\,(38{,}51 + 20)}{(1 + \alpha \cdot 20)\,(40 + 20)} = 606$ „

6., 7. und 8. „ $\frac{720\,(1 - \alpha \cdot 20)\,(37{,}78 + 20)}{(1 + \alpha \cdot 20)\,(40 + 20)} = 599$ „

im Ganzen also:

4895 cbm.

e) **Wärmemenge, welche der Heizapparat zu liefern hat.**

α) Zur Erwärmung der Luft nach Gleichung 122:

$$W_1 = 0{,}306 \cdot 4895\,(40 + 20) = 89\,872\ WE.$$

β) Zur Verdunstung des Wassers. Wenn wieder in Gleichung 12 $p_0 = 80$, $p = 50$ gesetzt wird, ist die zur Verdunstung zu bringende Wassermenge:

$$A = \frac{5803}{100}\left(50 \cdot 0{,}017177 - 80 \cdot 0{,}00106\,\frac{1 - \alpha \cdot 20}{1 + \alpha \cdot 20}\right) = 45{,}6 \text{ kg},$$

mithin nach Beispiel 1 und Gleichung 123:

$$W_2 = 45{,}6 \cdot 600 = 27\,360\ WE.$$

Es ist somit:

$$W = W_1 + W_2 = 89\,872 + 27\,360 = 117\,232\ WE.$$

f) **Grösse des Heizapparats.** Unter derselben Voraussetzung wie im Beispiel 1 ist:

$$F = \frac{117\,232}{1500} \backsim 78 \text{ qm}.$$

g) **Luftwechsel, welcher der Berechnung der Kanäle zu Grunde zu legen ist.** Da der geforderte stündliche Luftwechsel bei 0° Aussentemperatur $8 \cdot 720 = 5760$ cbm, der zur Deckung der Transmission bei $-20°$ erforderliche 5402 cbm beträgt, somit $5760 > 5402 \cdot 0{,}721$ ist, muss der geforderte stündliche Luftwechsel von 5760 cbm der Berechnung der Kanäle zu Grunde gelegt werden.

h) **Bestimmung der Temperaturen, welche für Berechnung der Kanalanlage anzunehmen sind.** Die Aussentemperatur beträgt der Aufgabe gemäss $t_0 = 0°$. Bei 0° beträgt die Transmission 15 200 *WE* und zwar für den 1. Raum 2024, 2. Raum 2148, 3., 4. und 5. Raum je 1875, 6., 7. und 8. Raum je 1801 *WE*. In Folge dessen ist die erforderliche Einströmungstemperatur für den

1. Raum $\quad \dfrac{2024\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 29{,}86°,$

2. " $\quad \dfrac{2148\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 30{,}46°,$

3., 4. und 5. Raum $\quad \dfrac{1875\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 29{,}13°,$

6., 7. und 8. " $\quad \dfrac{1801\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \cdot 720} + 20 = 28{,}77°.$

Diese Temperaturen sind als diejenigen der Luft in den Zuluftkanälen anzusehen und in Rechnung zu bringen. Da die Temperaturen nicht wesentlich von einander abweichen, wird man zur

Vereinfachung der Rechnung für alle Räume die Temperatur 29° in Ansatz bringen können.

Beispiel 4. Die Aufgabe ist mit der im Beispiel 1 gegebenen übereinstimmend, nur sollen in jedem Raume jederzeit 20 Personen anwesend sein, von denen jede stündlich 20 cbm Luftwechsel erfordert. Dieser Luftwechsel soll bei einer Aussentemperatur von 0° noch erzielt werden.

Lösung der Aufgabe.

a) **Stündlicher Luftwechsel.** 20 Personen geben $20 \times 100 = 2000$ *WE* stündlich bei $+20°$ umgebender Luft ab: die Wirkung der Transmission verringert sich daher bei jedem Raume um 2000 *WE*. Bei $+40°$ höchster Einströmungstemperatur beträgt der stündliche Luftwechsel bei $-20°$ Aussentemperatur

zur Deckung der Transmission vor Benutzung der Räume:

$$\frac{30\,800\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 5402 \text{ cbm von } +20°,$$

zur Deckung der Transmission während der Benutzung der Räume:

$$\frac{(30\,800 - 8 \cdot 2000)\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 2596 \text{ cbm von } +20°,$$

nach gegebener Bedingung:

$$20 \cdot 8 \cdot 20 = 3200 \text{ cbm von } +20°.$$

Da der grösste Luftwechsel für Deckung der Transmission vor Benutzung der Räume erforderlich wird, so ist dieser der Grössenbestimmung des Heizapparates zu Grunde zu legen.

b) **Luftwechsel, welcher der Berechnung der Kanäle zu Grunde zu legen ist.** Der Luftwechsel zur Deckung der Transmission vor Benutzung der Räume beträgt 5402 cbm.

Der geforderte Luftwechsel beträgt 3200 cbm bei 0° Aussentemperatur. Da nun:

$$0{,}721 \cdot 5400 > 3200,$$

so ist $0{,}721 \cdot 5400 = 3893$ cbm der Berechnung der Kanäle zu Grunde zu legen.

(Wäre der Luftwechsel von 3200 cbm bis zu einer Aussentemperatur von $+10°$ gefordert, so würde nach Aufstellung S. 231 $0{,}538 \cdot 5400 < 3200$ sein, somit müssten dann 3200 cbm der Berechnung der Kanäle zu Grunde gelegt werden.)

c) **Bestimmung der Temperaturen, welche für die Berechnung der Kanalanlage anzunehmen sind.** Aussentemperatur $t_0 = 0°$.

Temperatur der einströmenden Luft bezw. der Luft in den Zuluftkanälen, da bei 0° die Transmission 15 200 *WE* beträgt:

$$t' = \frac{15\,200\,(1 + \alpha \cdot 20)}{0,306 \cdot 3893} + 20 \backsim 34°.$$

(Wäre der Luftwechsel von 3200 cbm bis zu einer Aussentemperatur von + 10° gefordert, so dass also nach b dieser in Rechnung gestellt werden müsste, so würde t' wie bei Beispiel 3 unter h, natürlich unter Berücksichtigung der stündlichen Wärmeabgabe der Anwesenden, zu bestimmen sein.)

Achtzehntes Kapitel.

Kühlung geschlossener Räume.

Die Kühlung geschlossener Räume ist im Prinzip als eine negative Heizung aufzufassen. Die Heizung von Räumen bezweckt, Wärmeverluste zu decken, die Kühlung, Wärmeüberschüsse auszugleichen. Die Wärmeüberschüsse werden, abgesehen von besonderen Vorgängen, im wesentlichen hervorgerufen durch Wärmeüberführung (Transmission) der Umschliessungskörper des Raumes von aussen nach innen und durch die Wärmeerzeugung der Menschen und der Beleuchtung.

Im Winter ist für Bestimmung des Wärmeverlustes der Räume die niedrigste, im Sommer für Bestimmung des Wärmegewinns der Räume die höchste Aussentemperatur massgebend. Dieselbe ist verschieden je nach der geographischen Lage..

In Berlin betrug die höchste Temperatur in dem Jahre 1892 (18. August) 35° C. im Schatten. Die unmittelbare Sonnenerwärmung kann bei der Heizung, da sie eine Unterstützung derselben darstellt, unberücksichtigt bleiben, bei der Kühlung muss sie in Rechnung gezogen werden. Es ist daher für nach der Sonnenseite gelegene Räume eine höhere Aussentemperatur (etwa bis + 40° C.) anzunehmen.

Bezüglich der Wärmeerzeugung durch die Menschen und die Beleuchtung ist das früher im Abschnitt „Lüftung“ Gesagte (s. S. 8) massgebend.

Bei der Erwärmung dehnt sich die Luft aus und wird relativ trockener, bei der Kühlung verdichtet sie sich und wird relativ feuchter. Bei Unterschreitung der Thaupunktstemperatur scheidet

sich Wasser aus, die Luft ist alsdann gesättigt, wenn auch absolut trockener.

Sofern die Kühlung der Räume unmittelbar durch aufgestellte Kühlkörper stattfindet, wird die relative Feuchtigkeit in den Räumen zunehmen, falls die Kühlkörper nicht eine so niedrige Temperatur besitzen, dass sich an denselben die entsprechende Dampfmenge niederschlägt oder falls nicht eine genügende Menge entsprechend trockener Luft den Räumen zugeführt wird. Da das Ueberschreiten eines gewissen Masses von Feuchtigkeit in einem Raume die Annehmlichkeit des Aufenthalts vermindert, ferner Kühlkörper von sehr niedriger Temperatur wohl in Gährkellern u. s. w., nicht aber in bewohnten Räumen ohne Eintreten verschiedener Unzuträglichkeiten aufgestellt werden können und im Sommer die äussere Luft meist viel Feuchtigkeit enthält, so ist es fast stets und zumal wenn in einem Raume sich eine grosse Anzahl Menschen befindet, erforderlich, die Räume durch Einführung niedrig temperirter und entsprechend trockener Luft zu kühlen. Da die Luft durch Kühlung in ihrem relativen Feuchtigkeitsgehalt zunimmt, ist es alsdann nöthig, zunächst behufs Ausscheidung von Wasser die Luft an niedrig temperirten Kühlflächen vorüberzuführen und sie alsdann mit ungekühlter Luft zu mischen, oftmals auch zur Vermeidung zu niedriger Temperatur, an einem Heizapparate wieder zu erwärmen. Bei Kühlung der Räume in Verbindung mit Lüftungsanlagen kann die Forderung eines nicht zu hohen Feuchtigkeitsgehalts erfüllt werden und da eher eine etwas hohe Temperatur als sehr feuchte Luft ertragen wird, ist es stets zu empfehlen, den zulässigen höchsten Feuchtigkeitsgehalt in den Räumen vorzuschreiben. Um die Betriebskosten einer Kühlanlage möglichst zu vermindern, sollte vor Benutzung der Räume nicht unter Ableitung der Abluft ins Freie, sondern unter wiederholter Führung nach den Kühlkörpern, also mittelst Umlaufs gekühlt werden. Es ist dies für Kostenersparnisse wichtiger, als die Anwendung von Umlauf für Erwärmung von Räumen, da bei Kühlung nicht nur von den Kühlflächen die Wärme aufgenommen werden muss, welche zur Abkühlung der Luft erforderlich ist, sondern auch diejenige, welche beim Niederschlagen des Wassers aus der gekühlten Luft frei wird.

I. Kühlmittel.

1. Wände. Die Aussenwände der Gebäude sind bei der höchsten Aussentemperatur an und für sich wärmer als die Innenluft. Werden die Wände eines Raumes auf irgend eine Weise abgekühlt, so sind sie alsdann als Kühlkörper anzusehen. Eine derartige Abkühlung kann nur in unbenutztem Zustande der Räume erfolgen, da die ein-

strömende Luft eine niedrigere Temperatur als bei Benutzung der Räume besitzen muss. Bei den meisten Kühlanlagen macht es sich nöthig, die Wände in der besprochenen Weise als Kühlkörper mit zu benutzen, mithin vor Benutzung der Räume, diesen, besonders während der Nacht, kühle Luft zuzuführen. Doch ist hierbei zu beachten, dass die Kühlung der Wand-Oberflächen nicht derartig erfolgen darf, dass sich an denselben Wasser aus der Luft des Raumes niederschlagen kann. Es ist daher rathsam, eine möglichst tiefe Schicht der Wände mässig, anstatt eine kleine Schicht sehr kräftig abzukühlen, d. h. also der den Räumen in unbenutztem Zustande zuzuführenden Luft eine nicht zu niedrige Temperatur zu geben, dafür aber die Zeit der Wändekühlung möglichst auszudehnen.

2. Unterirdische Kanäle. In einer gewissen Tiefe besitzt die oberste Erdschicht eine nahezu gleichmässige Temperatur, und es ist versucht worden, durch Einlegung von Kanälen in die Erde eine Kühlung der Luft herbeizuführen. Der Effekt lässt indessen bei diesen Einrichungen bald nach, besonders wenn die Erde trocken ist und sie daher nur geringe Leitungsfähigkeit besitzt. Auch wenn die Röhren in das Grundwasser gelegt werden, ist die Wirkung den Anlagekosten nicht entsprechend.

3. Flüssigkeiten.

a) **Unmittelbare Berührung mit der Luft.**

α) Berieselung von Flächen. Sofern derartige Anlagen angewendet werden, soll die Kühlung nicht allein durch die Berührung der Luft mit der Wasserfläche, sondern nach Einstellen der Berieselung durch die in Folge der Berührung mit dem Wasser abgekühlten Wände hervorgerufen werden. Die Wirkung derartiger Anlagen ist keine bedeutende.

β) Wasserstrahlen oder Wasserschleier. Bereits bei der vorbesprochenen Art der Kühlung noch mehr aber bei der hier in Frage stehenden, findet die Kühlung der Luft einestheils durch Berührung mit dem Wasser, anderentheils durch die Verdunstung von Wasser statt. Der Nachtheil dieser Kühlung besteht in der Sättigung der Luft mit Wasser und daher in der Nothwendigkeit, die Luft nachträglich wieder zu trocknen. Es finden aus diesem Grunde und ausserdem in Folge hoher Betriebskosten derartige Anlagen, lediglich für Kühlung der Räume, selten Anwendung.

γ) Wasser in gefrorenem Zustande (Eis). Ein kg schmelzendes Eis vermag 79 *WE* zu binden, 1 cbm Eis wiegt etwa 800 kg. Da wo Eis billig zu haben ist, kann dieses Mittel für einzelne Räume Verwendung finden. Am besten ist es dann, das Eis über dem betreffenden Raume in einer Kühlkammer aufzustellen und die Luft von oben in den Raum eintreten zu lassen.

b) **Mittelbare Berührung mit der Luft (Anwendung von Kühlkörpern).** Zum unmittelbaren Kühlen der Kühlkörper und mittelbaren Kühlen der Luft kann verwendet werden:

α) Wasserleitungswasser. Dasselbe findet in der Praxis wegen seines Preises und seiner verhältnissmässig hohen Temperatur keine Verwendung. Die Wirkung der Kühlung ist eine geringe.

β) Brunnenwasser. Dasselbe setzt zum Heben maschinellen Betrieb voraus, erfordert aber ebenso wie das Wasserleitungswasser grosse Kühlkörper, welche nur selten angewendet werden können.

γ) Wasser, durch Eis oder durch besondere Vorrichtungen gekühlt. Die Anwendung von Eis zur Kühlung für ganze Gebäude ist meist zu theuer.

Bei unmittelbarer Kühlung durch Eis (α, γ) ist mit derselben die in Frage stehende mittelbare Kühlung zweckentsprechend zu verbinden, indem das Schmelzwasser durch Röhren geleitet wird, und so zur Abkühlung der Luft Verwendung finden kann.

Hauptsächlich werden in der Praxis besondere Kältemaschinen zur Kühlung des Wassers angewendet, und um die Temperatur des Wassers möglichst niedrig bemessen zu können, wird demselben ein für diesen Zweck geeignetes Salz zugefügt. Die in Anwendung befindlichen Kältemaschinen sind meistens sogenannte Verdunstungsmaschinen. Dieselben beruhen auf Bildung von Dämpfen einer geeigneten Flüssigkeit unter Druckverminderung.

Bei diesem Vorgange wird Wärme gebunden und sofern die Flüssigkeit in einem von Wasser umgebenen Gefäss sich befindet, dem Wasser mithin Wärme entzogen.

Die Erniedrigung der Temperatur ist um so grösser, je grösser die Druckverminderung und je niedriger der Siedepunkt der betreffenden Flüssigkeit ist.

4. Verdichtung und Abkühlung der Luft vor Einführung in die Räume. Sofern Luft durch Druck verdichtet und alsdann abgekühlt wird, erniedrigt sich bei der Druckentlastung, d. h. beim freien Austritt der Luft ihre Temperatur.

Diese Art der Luftkühlung ist für den in Frage stehenden Zweck in Folge des hohen Preises der erforderlichen Maschinen in der Praxis kaum in Anwendung. Bei der weiteren Verbreitung der Druckluft-Anlagen gewinnt jedoch diese Art der Kühlung von Räumen im Sommer grosse Bedeutung.

II. Ausführung der Kühlflächen.

Das Material der Kühlflächen soll ein derartiges sein, dass es vom Niederschlagswasser nicht angegriffen wird. Da jedoch Eisen dem Rosten unterliegt, müssen entweder die Kühlflächen aus Kupfer

hergestellt oder die eisernen Kühlflächen mit einem widerstandsfähigen Ueberzug versehen werden. Man verwendet daher in der Praxis die sogenannten inoxydirten Röhren (Schmiedeeiserne Röhren, durch und um welche in glühendem Zustande Wasserdampf geleitet worden ist) — in diesem Falle lassen sich die Kühlflächen im Winter auch als Heizflächen benutzen — oder einen Anstrich von Theer, welcher aber unter Anwärmung der Röhren auf diese gebracht werden muss.

III. Berechnung der Grössen bezw. Theile einer Kühlungsanlage.

Aus bereits mitgetheilten Gründen sollen hier nur diejenigen Anlagen behandelt werden, deren Wirksamkeit auf Einführung kühler Luft in die betreffenden Räume beruht.

Da die niedrigste Temperatur der Kühlluft nicht beliebig angenommen werden kann, der stündliche Luftwechsel aber möglichst nicht das Fünffache des Rauminhalts überschreiten darf, ist es nur selten möglich die stündlich zu beseitigende Wärmemenge während der Benutzung der Räume lediglich durch den Luftwechsel bewirken zu können. In allen diesen Fällen ist die Zuhülfenahme der Wände als Kühlkörper, mithin die Kühlung der Wände vor Benutzung der Räume durch die Anlage erforderlich (s. S. 243).

Bei der Berechnung sollen im Folgenden die Luftmengen der Einfachheit halber meist in kg statt in cbm angenommen werden. Die Umrechnung von kg in cbm erfolgt stets nach Gleichung 3, S. 4.

1. Bestimmung der Temperaturen im Raume während der Benutzung. Die Temperatur in Kopfhöhe t_0 ist jederzeit vorgeschrieben, die Temperatur unter der Decke ist gemäss Gleichung 13[b] zu setzen:

$$t_0' = t_0 + 0{,}03\, t_0 (h - 3).$$

die mittlere Temperatur im Raum beträgt $\frac{t_0 + t_0'}{2}$.

2. Bestimmung der Wärmemenge, welche stündlich im Beharrungszustande beseitigt werden soll. Dieselbe zerfällt in:

a) Die stündliche Transmission W_1 von aussen nach innen bei einem Temperaturunterschied von $t - t_0$, sofern t die äussere, t_0 die innere Temperatur bezeichnet.

Die Berechnung derselben erfolgt nach Früherem (s. S. 122 und folgende).

b) Die stündlich durch die Menschen und Beleuchtung abgegebene Wärmemenge; dieselbe werde mit W_2 bezw. W_3 bezeichnet und ist nach den Angaben auf S. 8 zu berechnen.

Die gesammte stündlich zu beseitigende Wärmemenge ist mithin:

$$W = W_1 + W_2 + W_3. \qquad (127)$$

3. Bestimmung des erforderlichen geringsten Luftwechsels im Raume. Derselbe ist:

$$G_0 = \frac{W}{0{,}237\,(t_0 - t')}\ \text{kg oder}\ L_0 = \frac{W\,(1 + \alpha t_0)}{0{,}306\,(t_0 - t')}\ \text{cbm}, \qquad (128)$$

wenn t' die Temperatur der einströmenden Luft bedeutet, für t_0 die mittlere Raumtemperatur genommen wird.

Der berechnete Luftwechsel darf nicht grösser als der fünffache Rauminhalt sein. Ist der berechnete Luftwechsel grösser, so ist höchstens der fünffache Rauminhalt für G_0 anzunehmen. Der alsdann nicht gedeckte Theil von W muss von den Wänden in den Räumen aufgenommen werden, vorausgesetzt, dass diese dick genug sind, und sind diese daher entsprechend vor Benutzung der Räume zu kühlen.

4. Bestimmung der durch Menschen und Gasbeleuchtung dem Raume zugeführten Feuchtigkeit. Die Feuchtigkeit, welche stündlich ein Mensch abgiebt, ist auf S. 6 zu entnehmen.

Die beim Verbrennen von 1 cbm Gas entwickelte und an die Luft in Dampfform abgegebene Feuchtigkeit ist nach F. Fischer*) etwa 1 kg.

Die gesammte der Raumluft stündlich zugeführte Wassermenge werde mit A in kg bezeichnet.

5. Bestimmung der Feuchtigkeit, welche in der eingeführten Luft enthalten sein darf. Wird dieselbe mit C bezeichnet, so ist:

$$C = \frac{G_0\,p_0\,g_0}{100} - A, \qquad (129)$$

sofern bedeutet:

p_0 den vorgeschriebenen Prozentsatz der Sättigung im Raume,

g_0 die Wassermenge in kg, welche bei voller Sättigung in einem kg Luft von der Temperatur t_0 enthalten ist (s. Tabelle 1).

6. Bestimmung der Wassermenge, welche die Kühlflächen stündlich aus der Luft niederzuschlagen haben. Die Wassermenge in kg ist zu setzen:

$$Q = \frac{G_0\,p\,g}{100} - C, \qquad (130)$$

wenn bedeutet:

p den Prozentsatz der Sättigung der Aussenluft,

g die Wassermenge in kg, welche bei voller Sättigung in einem kg Aussenluft (von der Temperatur t) enthalten ist.

7. Bestimmung der Temperatur t_1, auf welche die einzuführende Luft gekühlt werden muss, damit sie nicht mehr als C kg Wasser enthält. Hierbei sind 2 Fälle zu unterscheiden:

*) Dr. Ferd. Fischer, Feuerungsanlagen 1889.

a) Die gesammte Luft G_0 wird von t° auf t_1° gekühlt.

In diesem Falle ist zu setzen:

$$C = \frac{G_0\, p_1\, g_1}{100}, \text{ also: } g_1 = \frac{100\, C}{G_0\, p_1}, \qquad (131)$$

worin bedeutet:

p_1 den Prozentsatz der Sättigung der Luft von t_1°,

g_1 die Wassermenge in kg, welche bei voller Sättigung in einem kg Luft von der Temperatur t_1 enthalten ist.

p_1 muss nach dem Grade der Sättigung der Aussenluft geschätzt werden, ist die Aussenluft bereits nahezu gesättigt, so ist $p_1 = 100$ zu setzen.

Nach Bestimmung von g_1 folgt die zugehörige Temperatur t_1 aus Tabelle 1.

Durch diese Rechnung erhält man die höchste noch zulässige Kühltemperatur, dagegen auch die grösste Kühlfläche. Nach der Kühltemperatur kann die Kühlflüssigkeit gewählt werden. In der Regel wird man wünschen möglichst kleine Kühlflächen zu erhalten, muss dann allerdings Kühlkörper von niedrigerer Temperatur anwenden. Dies führt zu:

b) Ein Theil (G_1) der von aussen mit t° zu entnehmenden Luft (G_0) soll nur gekühlt und alsdann mit dem ungekühlten Theil (G) gemischt werden.

In diesem Falle wähle man (entsprechend der anzunehmenden Temperatur der Kühlflüssigkeit) t_1, auf welche die Luft G_1 gekühlt werden soll. Hierbei wird es meist vorkommen, dass G_1 nach der Kühlung ganz oder doch nahezu gesättigt ist, ehe die Mischung mit der ungekühlten Luft G stattfindet. Nach der Mischung wird eine Erhöhung der Temperatur eintreten, trotzdem aber in Folge der in G enthaltenen Feuchtigkeit meist noch Wasser ausgeschieden werden, wodurch die Luft eine weitere Erwärmung erfährt. Zur Vereinfachung der Rechnung ist zu empfehlen, G_1 so gross zu nehmen, dass aus ihm das gesammte erforderliche Wasser ausgeschieden werden kann, so dass die nachträgliche Erwärmung durch Niederschlagen von Wasser bei erfolgender Mischung und die dadurch bedingte Temperaturerhöhung vernachlässigt werden kann. Man erhält alsdann etwas trockenere Luft, als gefordert wird.

Dies vorausgesetzt nehme man nach getroffener Wahl von t_1, da mit derselben g_1 aus Tabelle 1 bestimmt ist und p_1 geschätzt werden kann (je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Aussenluft, meist zu 100),

$$G_1 = \frac{100\, Q}{p g - p_1 g_1}. \qquad (132)$$

Ferner ist:

$$G = G_0 - G_1 \qquad (133)$$

und die Mischtemperatur von G und G_1:

$$t_2 = t + \frac{G_1(t_1 - t)}{G_0}. \qquad (134)$$

Aus t_2 folgt ohne weiteres nach Tabelle 1 das g_2, d. h. die Menge Wasser, welche in einem kg Luft von der Temperatur t_2 bei voller Sättigung enthalten ist und aus dieser, da p und g gegeben, p_2.

8. Bestimmung des Prozentsatzes der Feuchtigkeit, welche im Raume herrschen wird. Der Prozentsatz stellt sich, wenn die gesammte Luft auf $t_1°$ gekühlt worden ist (s. 7a) gleich dem zulässigen; wenn dagegen ein Theil (G_1) derselben auf $t_1°$ gekühlt und mit dem anderen ungekühlten Theil (G) gemischt worden ist (s. 7 b) zu:

$$p_0 = \frac{G_0 p_2 g_2 + 100 A}{G_0 g_0}. \qquad (135)$$

9. Bestimmung der Wärmemenge, welche die Kühlflächen stündlich aufzunehmen haben. Die Wärmemenge ist, wenn die gesammte Luft G_0 auf $t_1°$ gekühlt worden ist (s. 7a):

$$W' = QM + 0{,}237\, G_0 (t - t_1), \qquad (136^a)$$

wenn nur ein Theil Luft (G_1) gekühlt worden ist (s. 7b):

$$W' = QM + 0{,}237\, G_1 (t - t_1), \qquad (136^b)$$

sofern M die Wärmemenge bedeutet, welche beim Niederschlagen von 1 kg Wasser bei der Temperatur t_1 frei wird (s. Tabelle 19).

10. Bestimmung der Kühlflächen. Dieselbe erfolgt nach den betreffenden Gleichungen für die Stromfläche (s. S. 110); bei Kühlung ist Gegenstrom anzuwenden. Der Transmissionskoeffizient k in diesen Gleichungen schwankt nach verschiedenen Angaben sehr bedeutend. Die Geschwindigkeit der Luft, die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Kühlflächen durch Niederschlagswasser u. s. w. bedingen die Verschiedenheit der erzielten Ergebnisse.

Bei Temperaturen, bei welchen kein Niederschlagswasser an den Kühlflächen sich abscheidet, setze man $k = 12$, anderenfalls steigere man k bis 15.

Ist ϑ die Anfangstemperatur, ϑ_1 die Endtemperatur der Kühlflüssigkeit, so ist bei Gegenstrom die Kühlfläche:

$$F = \frac{W'}{k\{t - \vartheta_1 - (t_1 - \vartheta)\}} \ln \frac{t - \vartheta_1}{t_1 - \vartheta}. \qquad (137)$$

Beispiel für Berechnung der Grössen bezw. Theile einer Kühlungsanlage.

Aufgabe. Ein mit elektrischer Beleuchtung versehener Saal von 20 m Länge, 12 m Breite und 10 m Höhe soll monatlich einmal

von 200 Personen benutzt werden. Während der Benutzung, deren Dauer auf 3 Stunden zu bemessen ist, soll die Temperatur nicht über 22° ansteigen. Als höchste Aussentemperatur sind 30°, als niedrigste Einströmungstemperatur der Luft 17° anzunehmen. Der Feuchtigkeitsgehalt im Saale darf, sofern derjenige der Aussenluft 80 % absoluter Sättigung beträgt, 50 % nicht übersteigen. Vor Beginn der Kühlung kann die Temperatur im Saale zu 26° angenommen werden. Die stündliche Wärmetransmission von aussen nach innen bei einem Temperaturunterschied von 30 — 22 = 8° berechne sich zu 9600 *WE*. Der Luftwechsel pro Person und Stunde darf 40 cbm nicht übersteigen. Die Kühlung des Saales vor Benutzung desselben ist durch Luftumlauf zu bewirken.

Lösung der Aufgabe.

1. Bestimmung der Temperaturen im Saale während der Benutzung. Die Temperatur in Kopfhöhe beträgt der Aufgabe gemäss $t_0 = 22°$. Die Temperatur unter der Decke ist gemäss Gleichung 13[b] zu $22 + 0{,}03 \cdot 22\,(10 - 3) = 27°$, die mittlere Temperatur im Saale somit zu $\frac{22 + 27}{2} \backsim 25°$ anzunehmen.

2. Bestimmung der Wärmemenge, welche stündlich im Beharrungszustande beseitigt werden muss.

a) Die stündliche Wärmeüberführung beträgt (gemäss der Aufgabe) $W_1 = 9600$ *WE*.

b) Die stündlich bei 22° durch die Menschen abgegebene Wärme ist nach Seite 8 zu setzen: $W_2 = 200 \cdot 6\,(37 - 22) = 18\,000$ *WE*.

c) Die stündlich durch die Beleuchtung abgegebene Wärmemenge kann, da elektrische Beleuchtung vorgesehen ist, vernachlässigt werden.

Die gesammte im Beharrungszustande stündlich zu beseitigende Wärmemenge ist somit gemäss Gleichung 127:

$$W = W_1 + W_2 = 9600 + 18\,000 = 27\,600\ WE.$$

3. Bestimmung des erforderlichen geringsten Luftwechsels im Raume. Nach Gleichung 128 beträgt der erforderliche Luftwechsel:

$$G_0 = \frac{27\,600}{0{,}237\,(25 - 17)} = 14\,557 \text{ kg oder}$$

$$L_0 = \frac{27\,600\,(1 + \alpha \cdot 25)}{0{,}306\,(25 - 17)} = 12\,307 \text{ cbm.}$$

Es würde somit ein Luftwechsel von $\frac{12\,307}{200} \backsim 62$ cbm auf die Person kommen. Da 40 cbm nur gestattet sind, darf der gesammte Luft-

wechsel höchstens 8000 cbm = 9573,6 kg betragen, es möge derselbe somit zu

$$G_0 = 9500 \text{ kg}$$

angenommen werden.

Mit Hilfe dieses Luftwechsels können stündlich nur

$$9500 \cdot 0{,}237\,(25 - 17) \backsim 18\,000\ WE$$

beseitigt werden. 27 600 *WE* sind zu beseitigen, somit müssen stündlich 27 600 — 18 000 = 9600 *WE* durch die Wände aufgenommen, diese also vor Benutzung des Saales entsprechend gekühlt werden.

4. Bestimmung der durch Menschen und Beleuchtung dem Saale zugeführten Feuchtigkeit. Da elektrische Beleuchtung vorhanden, kommt nur die Feuchtigkeitsabgabe der Personen in Frage; dieselbe beträgt:

$$A = 0{,}036 \cdot 200 = 7{,}2 \text{ kg}.$$

5. Bestimmung der Feuchtigkeit, welche in der eingeführten Luft enthalten sein darf. Für dieselbe ist Gleichung 129 zu benutzen. Im vorliegenden Falle ist:

$G_0 = 9500$, p_0 (wie vorgeschrieben) = 50, g_0 (für die zulässige Temperatur über Kopfhöhe von 22° nach Tabelle 1) = 0,016 116, somit die zulässige Wassermenge:

$$C = \frac{9500 \cdot 50 \cdot 0{,}016\,116}{100} - 7{,}2 = 69{,}351 \text{ kg}.$$

6. Bestimmung der Wassermenge, welche die Kühlflächen aus der Luft niederzuschlagen haben. Die Wassermenge ist nach Gleichung 130:

$$Q = \frac{9500 \cdot 80 \cdot 0{,}02\,586}{100} - 69{,}351 = 127{,}185 \text{ kg}.$$

7. Bestimmung der Temperatur t_1, auf welche die einzuführende Luft gekühlt werden muss, damit sie nicht mehr als 69,351 kg Wasser enthält. Soll die gesammte Luftmenge von 9500 kg an der Kühlfläche gekühlt werden, so ist nach Gleichung 131:

$$69{,}351 = \frac{9500 \cdot p_1\, g_1}{100}.$$

p_1 kann, da die Luft von 30° schon 80 % Feuchtigkeit enthält, zu 100 angenommen werden, so dass sich

$$g_1 = \frac{69{,}351}{9500} = 0{,}0073 \text{ ergiebt.}$$

Dieser Werth von g_1 entspricht einer Temperatur zwischen 9° und 10°, es kann daher $t_1 = 9°$ gesetzt werden.

Zur Kühlung könnte man also im vorliegenden Falle Kühlkörper, durch welche Wasser hindurchgeleitet wird, verwenden, indess er-

fordert die Kühlung alsdann die grösste Kühlfläche. Es soll daher eine Kältemischung durch die Kühlkörper hindurchgeleitet werden und zwar möge ein Theil (G_1) der 9500 kg mit 30° von aussen zu entnehmenden Luft auf 0° gekühlt und alsdann mit dem anderen ungekühlten Theil (G) gemischt werden.

Alsdann ist nach Gleichung 132 zu setzen, da g_1 bei $0° = 0{,}00377$ und p_1 zu 100 anzunehmen ist:

$$G_1 = \frac{100 \cdot 127{,}185}{80 \cdot 0{,}02586 - 100 \cdot 0{,}00377} = 7518 \text{ kg}.$$

Alsdann folgt: $G = 9500 - 7518 = 1982$ kg und die Mischtemperatur nach Gleichung 134:

$$t_2 = 30 + \frac{7518\,(0 - 30)}{9500} = 6{,}259°.$$

Für 6,259° ist (nach Tabelle 1) $g_2 \backsim 0{,}00584$ und $p_2 = 100$.

8. Bestimmung des Prozentsatzes der Feuchtigkeit, welche im Raume herrschen wird. Der Prozentsatz der Sättigung ist nach Gleichung 135:

$$p_0 = \frac{9500 \cdot 100 \cdot 0{,}00584 + 100 \cdot 7{,}2}{9500 \cdot 0{,}016116} \backsim 41\,\%.$$

9. Bestimmung der Wärmemenge, welche die Kühlflächen stündlich aufzunehmen haben. Die Wärmemenge stellt sich gemäss Gleichung 136^b, da M für 0°, 606,5 (s. Tabelle 19) ist:

$$W' = 127{,}185 \cdot 606{,}5 + 0{,}237 \cdot 7518\,(30 - 0) = 130\,591\,WE.$$

(Würde die gesammte Luft von 9500 kg auf 9° gekühlt werden, dann wäre $M \backsim 600$ und nach Gleichung 136^a $W' = 127{,}185 \cdot 600 + 0{,}237 \cdot 9500\,(30 - 9) = 123\,593\,WE$).

10. Bestimmung der Kühlflächen. Die Kühlflächen sollen Gegenstromapparate sein; die Kältemischung möge eine Anfangstemperatur von — 10° haben, die Endtemperatur möge 0° betragen. 7518 kg Luft sind von 30° auf 0° zu kühlen. Alsdann ist gemäss Gleichung 137 die Kühlfläche:

$$F = \frac{130\,591}{15\,\big(30 - 0 - (0 + 10)\big)}\, ln\, \frac{30 - 0}{0 + 10} = 478 \text{ qm}.$$

(Würde die gesammte Luft auf 9° gekühlt worden sein und nähme man die Anfangstemperatur der Kühlflüssigkeit zu 0°, die Endtemperatur zu + 10° an, so wäre:

$$F = \frac{123\,593}{12\,\big(30 - 10 - (9 - 0)\big)}\, ln\, \frac{30 - 10}{9 - 0} = 754 \text{ qm.})$$

11. Bestimmung der Kühlung des Saales vor Benutzung desselben. Die Saalluft ist von 26° auf 22° zu kühlen, den Wänden dagegen

ausserdem noch die unter 3 berechnete Wärmemenge zu entziehen, wodurch sich die Kühldauer entsprechend verlängert.

Die Kühlung des Saales ist als umgekehrtes Anwärmen aufzufassen. Bei der Grösse des Saales ist zur Berechnung der zu beseitigenden Wärmemenge Gleichung 62[a] zu empfehlen. Die Fensterflächen (einfaches Glas) mögen 94 qm, die Wandflächen etc. insgesammt 1000 qm betragen, so dass sich eine stündlich zu beseitigende Wärmemenge ergiebt, wenn z die Kühldauer in Stunden bedeutet, von:

$$\frac{94 \cdot 5{,}3\,(30-22)}{2} + 1000\left\{23 + \frac{5\,(26-22)}{z}\right\} = 25\,000 + \frac{20\,000}{z}\ WE.$$

Die Wärmemenge, welche noch den Wänden zu entziehen ist, beträgt 9600 *WE* stündlich, bei einer Benutzungsdauer des Saales von 3 Stunden somit $9600 \cdot 3 = 28\,800$ *WE*. Im Ganzen ist also während der Kühldauer an Wärme stündlich zu beseitigen:

$$25\,000 + \frac{20\,000}{z} + \frac{28\,800}{z} = 25\,000 + \frac{48\,800}{z}\ WE.$$

Setzt man $z = 8$ Stunden, so ergiebt sich für die Stunde 31 100 *WE*. Die Kühlfläche ist durch die berechnete während der Benutzung des Saales erforderliche Kühlfläche von 478 qm bestimmt. Zur Kühlung des Saales wird man Luftumlauf anwenden, da sonst durch den Wasserniederschlag an den Kühlkörpern ein zu theurer Betrieb eintritt. Der Saal hat 2400 cbm Inhalt; 50 % soll die Luft während der Benutzung des Saales höchstens gesättigt sein. Nimmt man auch diesen Prozentsatz während der Kühldauer an, damit die Wände nicht zu feucht werden und setzt den Feuchtigkeitsgehalt der Saalluft vor Beginn des Kühlens gleich demjenigen der Aussenluft d. h. 80 %, so ist ein Wassergehalt von 30 % aus der Luft zu entfernen. Die mittlere Temperatur im Saale während der Kühlzeit beträgt $\frac{26+22}{2} = 24°$. 1 cbm Luft von 24° enthält im gesättigten Zustande 0,021 617 kg Wasser; die niederzuschlagende Wassermenge ist somit $\frac{0{,}021\,617 \cdot 2400 \cdot 30}{100} = 15{,}56$ kg, oder auf die Dauer der Kühlzeit verteilt, was strenggenommen nicht richtig, aber in diesem Falle zulässig erscheint, stündlich $\frac{15{,}56}{z}$ oder bei 8stündiger Kühldauer 1,945 kg.

Wählt man als Temperatur der einströmenden Luft 10°, d. h. eine so niedrige Temperatur, dass selbst in gesättigtem Zustande die Luft nicht mehr Wasser enthalten kann, als bei der Saaltemperatur von 22° einer Sättigung von 50 % entspricht, so sind im Ganzen, da die latente Wärme des Wasserdampfes bei 10° rund 600 beträgt, stündlich

$$31\,100 + 1{,}945 \cdot 600 = 32\,267 \; WE$$

an die Kühlkörper zu übertragen.

Die Saalluft wird im Mittel auf 24° gekühlt, somit ist ein stündlicher Luftwechsel bei einer Eintrittstemperatur der Luft von 10° erforderlich von:

$$G_0' = \frac{31\,100}{0{,}237\,(24 - 10)} = 9373 \text{ kg.}$$

Dieser Luftwechsel entspricht nahezu dem bei Benutzung des Saales erforderlichen, was wegen der Kanalverhältnisse nur zu empfehlen ist.

Die Kühlfläche beträgt 478 qm; in Folge dessen muss der Gleichung

$$478 \geqq \frac{32\,267}{k\,(t_0 - \vartheta_0' - t_0' + \vartheta_0)}\, ln \frac{t_0 - \vartheta_0'}{t_0' - \vartheta_0}$$

Genüge geschehen, wenn mit t_0 die Anfangs-, t_0' die Endtemperatur der Luft, mit ϑ_0 und ϑ_0' die entsprechenden Temperaturen der Kühlflüssigkeit verstanden werden.

Es ist $t_0 = 24°$, $t_0' = 10°$, setzt man nun probeweise $\vartheta_0 = +5°$ und $\vartheta_0' = 8°$ und $k = 12$, so muss sein:

$$478 \geqq \frac{32\,267}{12\,(24 - 8 - 10 + 5)}\, ln \frac{24 - 8}{10 - 5}.$$

Das Beste ist, wenn das Gleichheitszeichen erreicht wird. In diesem Falle ist aber

$$478 > 284.$$

Man könnte somit die Kühldauer herabsetzen, müsste aber dann die durchzuführende Luftmenge erhöhen, was aus den bereits angeführten Gründen nicht empfohlen werden kann.

Setzt man $\vartheta_0 = 5$, $\vartheta'_0 = 17°$, so ist

$$478 > 452.$$

Diese Werthe liegen sich so nahe, dass das Beibehalten der angenommenen Temperaturen erfolgen kann.

Es ergiebt sich also für den Luftwechsel 9373 kg, 10° Einströmungstemperatur der Luft, 8stündige Kühldauer und eine Anfangstemperatur der Kühlflüssigkeit von 5°, eine Endtemperatur von 17° — alles unter der Voraussetzung von Luftumlauf.

Die ganze Berechnungsweise kann nur als eine angenäherte angesehen werden, da immer nur im Durchschnitt gerechnet worden ist und einige Vernachlässigungen (wie z. B. der Feuchtigkeitsgehalt der Wände) gemacht worden sind. Die erhaltenen Werthe können aber als sichere betrachtet werden.

Neunzehntes Kapitel.

Vortheile und Nachtheile, sowie Wahl der verschiedenen Heizungs-Systeme.

---

1. Ofenheizung. Die Vortheile sind: Einfachheit der Anordnung, Ausführung und Bedienung; leichte Auswechselung der Heizkörper; Unabhängigkeit der Erwärmung der einzelnen Räume von einander, Ausschluss von Frostschäden, geringste Anlagekosten.

Die Nachtheile sind: Verhältnissmässig theurer Betrieb; zeitraubende Bedienung; schwankende Wärme bei ungenügender Aufsicht; Nothwendigkeit des Kohlen- und Aschetransports im Hause und der Reinigung von Russ und Flugasche innerhalb der Räume.

Ofenheizung ist für kleinere Gebäude und immer dann zu empfehlen, wenn die Mittel zu einer vollkommen und gut auszuführenden Centralheizung nicht ausreichen. Das Bestreben, ein Gebäude unter allen Umständen mit Centralheizung zu versehen, ist häufig zu tadeln. Eine Ofenheizung wird niemals die Annehmlichkeiten einer richtig gewählten und gut angelegten Centralheizung ersetzen, indessen können bei verständiger Wahl der Oefen recht zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden.

Kachelöfen eignen sich für Räume, bei denen eine langsame Erwärmung gestattet und eine langsame Abkühlung gewünscht wird. Sie lassen keine eigentliche Regelung der Wärme zu und sind daher nur für Räume anzuwenden, in denen sich eine geringe Anzahl Menschen dauernd aufzuhalten hat (Wohnräume, Bureauräume); für Räume mit wechselnder oder starker Benutzung (Schulen) sind sie nicht zu empfehlen.

Eiserne Oefen mit unterbrochenem Betriebe eignen sich für Räume, die schnelle Erwärmung und schnelle Abkühlung erfahren sollen, besonders für Räume, die nur vor ihrer Benutzung zu erwärmen sind. (Kleine Versammlungsräume u. s. w.)

Eiserne Oefen mit ununterbrochenem Betriebe sind in neuester Zeit zu grosser Vollkommenheit gebracht worden und für Räume, in denen eine gleichmässige Wärme herrschen soll, aber doch ein verhältnissmässig schneller Wechsel der Wärmeabgabe des Heizkörpers verlangt wird, häufig zu empfehlen (kleinere Schulen, Wohnräume, Krankenräume, Bureaux).

2. Warmwasserheizung. Die Vortheile sind: Angenehm milde, gleichmässige, eventuell auch anhaltende Wärme; Regelbarkeit der



Temperatur eines jeden Raumes; einfacher und ökonomischer Betrieb; Möglichkeit der Erwärmung einer grossen Anzahl Räume von einer Heizstelle aus; Unmöglichkeit des Verderbens der Luft durch Versengen von Staub; geringe Abnutzung; grosse Sicherheit gegen Betriebsstörungen; Leichtigkeit der Anordnung, Gefahrlosigkeit.

Die Nachtheile sind: Hohe Anlagekosten; Wärmeaufspeicherung, sofern dieselbe nicht gewünscht wird; Heizkörper, welche oft mit den künstlerischen Anforderungen schwer zu vereinigen sind; Möglichkeit des Einfrierens bei unachtsamer Bedienung.

Warmwasserheizung, besonders Niederdruck-Warmwasserheizung eignet sich für alle Räume mit gleichmässiger Benutzung, nicht aber für solche, bei denen eine rasche Verminderung der Wärmeabgabe der Heizkörper eintreten muss. Sie ist daher zu empfehlen für Wohngebäude, Schulen, Krankenhäuser, Museen, Gewächshäuser u. s. w.; zu vermeiden ist sie bei Theatern, Concert- und Versammlungssälen, Kirchen u. s. w.

Die Warmwasserheizung giebt von allen Heizungen die angenehmste Wärme, da die Erwärmung der Heizkörper dem Wärmebedürfnisse, der äusseren Temperatur entsprechend, angepasst werden kann. Klagen über die Wirkung der Warmwasserheizung, sofern sie an und für sich nach dem Gesagten am Platze ist, sind auf mangelhafte Ausführung, besonders auf eine ungenügende Berücksichtigung des Wasserinhalts der Heizkörper und der Kessel und auf eine mangelhafte Berechnung der Rohrquerschnitte zurückzuführen. Für unmittelbare Erwärmung der von aussen für Lüftungszwecke zu entnehmenden Luft ist sie wegen etwaiger Frostschäden nicht geeignet und muss in den meisten Fällen von den Lüftungsanlagen getrennt werden. Mitunter ist dies als ein Nachtheil zu betrachten, da hierdurch die Bedienung und die Anlagekosten erhöht werden, indessen deckt sich nur selten der Heizbetrieb mit dem Lüftungsbedarf vollkommen und ist es alsdann nur wünschenswerth, getrennte Behandlung der beiden Anlagen zu besitzen.

3. **Heisswasserheizung.** Die Vortheile sind: Leichteste Anordnung und Unterbringung der Röhren auch in alten Gebäuden, schnelle Herstellung; niedrigere Anlagekosten, als bei der Warmwasserheizung; schneller Heizeffekt; einfacher Betrieb.

Die Nachtheile sind: Geringe Wärmeaufspeicherung, sofern solche verlangt wird; Gefahr des Einfrierens; Schwierigkeit und oft Unmöglichkeit der Erzielung gleichmässiger Temperaturen in verschiedenen von einem Systeme geheizten Räumen; Möglichkeit des Eintretens einer Explosion.

Heisswasserheizung sollte stets nur als Mitteldruckheizung (s. diese) ausgeführt werden und ist hauptsächlich für einzelne grosse,

täglich zu erwärmende Räume (Versammlungssäle, Restaurants u. s. w.) zu empfehlen. Für Wohngebäude, Bureaux u. s. w. erscheint sie nur dann geeignet, wenn die Verbindung der einzelnen Räume durch Offenhalten der Thüren in Aussicht genommen werden kann, da sie eine gleichmässige Wärmevertheilung bei verschiedenen Aussentemperaturen nicht zulässt. Bei Räumen mit sehr starken Wänden, wie z. B. Gefängnisse, tritt dieser Mangel noch am wenigsten in den Vordergrund, weil die Wände eine gewisse Ausgleichung der Wärme herbeiführen. Die Wärmeröhren sind am besten derartig anzuordnen, dass die Hälfte der erforderlichen Wärmemenge durch den Zulauf, die andere Hälfte durch den Rücklauf gedeckt wird. Für Räume mit nicht täglicher Benutzung ist dem Wasser ein Mittel gegen das Einfrieren zuzusetzen (s. S. 187), alsdann eignet sich die Heisswasserheizung recht gut für Erwärmung von Kirchen. Häufig ist sie für alte Gebäude, die mit Centralheizung versehen werden sollen, wegen ihrer leichten Anordnung in den Räumen anzuwenden.

4. Hochdruck-Dampfheizung. Die Vortheile sind: Grosse, fast unbegrenzte Ueberführung der Wärme in horizontaler Richtung; Möglichkeit der Erwärmung einer ganzen Anzahl Gebäude von einer Feuerstelle aus; schnelle und kräftige Wirkung; leichte Ausbildung als Dampfwasser-, Dampfwarmwasser- und Dampfluftheizung; Möglichkeit der gleichzeitigen Verwendung des Kesseldampfes zu anderen Zwecken (Kochen, Waschen, Bädern, Maschinenbetrieb u. s. w.).

Die Nachtheile sind: Leichtes Undichtwerden; Poltern und Stossen in der Anlage bei nicht ganz sachgemässer Ausführung; sehr geringe Wärmeaufspeicherung, sofern solche verlangt wird; bedeutende strahlende Wärme der Heizkörper; staatliche Genehmigung und Aufsicht; aufmerksamste und ununterbrochene Wartung während des Betriebs.

Hochdruck-Dampfheizung mit unmittelbarer Erwärmung der Räume durch aufgestellte Heizkörper empfiehlt sich nur für grosse oder untergeordnete Räume, in denen sich Personen dauernd nicht aufzuhalten haben oder die nachtheiligen Eigenschaften dieses Heizungssystems weniger fühlbar werden, wie Hallen, Vestibüle, Werkstätten u. s. w., ausserdem für Räume, welche vor ihrer Benutzung und zwar in möglichst kurzer Zeit erwärmt werden sollen. Als beste Heizfläche ist einfache Rohrleitung anzusehen.

In Form von Dampfluft- oder Dampfwarmwasser-Heizung (s. diese) leistet sie vortreffliche Dienste und ist in Folge der Möglichkeit die Wärme auf grosse Entfernungen zu übertragen und den Dampf für andere Zwecke noch zu benutzen, bei sehr ausgedehnten Gebäuden oder bei einer Anzahl von Gebäuden als Grundheizung mit unbedingtem Vortheil anzuwenden.

5. Niederdruck-Dampfheizung. Die Vortheile sind: Leichte, ununterbrochene Beheizung der Räume; Sicherheit gegen Undichtigkeiten; schnelle Erzielung der gewünschten Temperaturänderung in den Räumen; Ausschluss von Frostschäden, sofern in einzelnen Theilen eine Ansammlung von Wasser nicht erforderlich ist.

Die Nachtheile sind: Hohe Temperatur der Heizkörper; bei mangelhafter Anlage Stossen und Knallen in der Leitung; erforderliche Anwendung selbstthätiger Wärmeregler; besonders vorsichtige Ausführung.

Niederdruck-Dampfheizung ist neuerdings sehr in Aufnahme gekommen und wird angewendet überall da, wo Warmwasserheizung ebenfalls angezeigt ist, hat aber ausserdem den Vortheil, dass sie auch zur Heizung selten benutzter Räume (Kirchen u. s. w.), sowie zur Vorwärmung von aussen entnommener Luft benutzt werden kann. Der Niederdruck-Warmwasserheizung gegenüber steht sie insofern nach, als die Temperatur der Heizkörper jederzeit nahezu die des Dampfes ist und als sie ferner selbstthätige Wärmeregeler erfordert. Die Güte des Wärmeregelers ist von der grössten Bedeutung für die Anlage, die meisten Regler sind vor allgemeiner Anwendung durch Patent geschützt, es verfügt somit nicht jede Firma über eine gute und bewährte Konstruktion.

Die Kosten einer Niederdruck-Dampfheizung mit kupfernen Niederschlagswasser-Röhren sind nahezu gleich derjenigen einer Warmwasserheizung.

Dasjenige System ist vorzuziehen, bei welchem die unmittelbare Regelung der Wärmeabgabe der Heizkörper nicht durch Isolirmäntel sondern durch Ventile bewirkt wird.

6. Dampf-Warmwasserheizung. Die Vortheile und Nachtheile setzen sich aus denjenigen der Warmwasser- und Hochdruck-Dampfheizung zusammen.

Die Dampf-Warmwasserheizung ist mit grossem Vortheil anzuwenden, sofern eine sehr weit verzweigte Wärmevertheilung und die Anordnung von Warmwasserheizung wünschenswerth ist; es werden alsdann mehrere Warmwasserheizung-Systeme, welche durch die Dampfwärme in Thätigkeit zu setzen sind, vorgesehen.

7. Dampf-Wasserheizung. Die Vortheile sind diejenigen der Dampfheizung, ausserdem aber unter Umständen eine gewisse Aufspeicherung von Wärme in den Heizkörpern, die Nachtheile dagegen ebenfalls diejenigen der Dampfheizung, ausserdem aber noch die Schwierigkeit bezw. Unmöglichkeit der Wärmeregelung nach Erwärmung des Wassers in den Heizkörpern. Die Dampfwasserheizung wurde vor einigen Jahren sehr viel angewendet, neuerdings verhältnissmässig wenig. Sie ist im allgemeinen auch nicht empfehlenswerth, weil

Dampf-Warmwasserheizung dasselbe leisten kann, viel sicherer und ruhiger arbeitet und eine bessere Regelung der Wärme gestattet, überdies vom hygienischen Standpunkte bedeutende Vorzüge besitzt.

8. **Feuer-Luftheizung.** Die Vortheile sind: Billige Anlagekosten; Verbindung des Luftwechsels mit der Heizung; Schnelligkeit der Erwärmung der Räume; Gefahrlosigkeit des Betriebs bei Vermeidung von Rauchschiebern; Ausschluss von Frostschäden; Wegfall von Heizkörpern in den Zimmern.

Die Nachtheile sind: Geringe horizontale Ueberführung der Wärme, mithin Anordnung einer Anzahl Heizstellen bei grösseren Gebäuden; Ungleichmässigkeit des Luftwechsels in den Räumen oder Nothwendigkeit besonderer Vorrichtungen, welche erhöhte Bedienung erfordern; störender Einfluss des Windes auf den Effekt; geringe Wärmeaufspeicherung, sofern der Heizapparat nur aus Eisen besteht bezw. nicht besondere Aufspeicherungskörper vorgesehen werden; Möglichkeit des Versengens von Staubtheilchen an dem Heizapparat; schwierige Konstruktion des Letzteren.

Feuer-Luftheizung ist nur anzuwenden, wenn die Räume eine vor bedeutenderen Windanfällen geschützte Lage besitzen. Sie empfiehlt sich für Wohnräume, Bureaux u. s. w. nur bedingt, d. h. wenn nur mit einer geringen Anzahl Heizstellen im Gebäude auszukommen ist und die Betriebskosten weniger Berücksichtigung zu finden brauchen. Die Erwärmung der Räume setzt einen bestimmten Luftwechsel voraus, der oftmals grösser als der vom hygienischen Standpunkte geforderte sein muss. Für Gesellschaftsräume, Säle, kleinere Theater, Hörsäle, auch unter Berücksichtigung obiger Bedingungen für Schulen u. s. w. leistet die Feuer-Luftheizung (eventuell auch neben einer anderen Heizung nur als Lüftungsanlage) gute Dienste, da je nach dem Betriebe der Heizapparate die Temperatur der eintretenden Luft in beliebigen Grenzen gehalten und somit nach genügender Erwärmung der Räume die Anlage als Lüftungs-Anlage benutzt werden kann.

9. **Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung.** Die Vortheile sind: Verbindung des Luftwechsels mit der Heizung: Wegfall von Heizkörpern in den Zimmern; Vermeiden des Verbrennens von Staubtheilchen; einfache Bedienung; Nothwendigkeit nur einer Heizstelle für grössere Gebäude, besonders bei Dampf-Luftheizung; leichte Regelbarkeit der Temperatur der in die Räume strömenden Luft.

Die Nachtheile sind: Hohe Anlagekosten; Ungleichmässigkeit des Luftwechsels in den Räumen oder Nothwendigkeit besonderer Vorrichtungen; störender Einfluss des Windes auf den Effekt.

Wasser-Luftheizung sollte eigentlich wegen möglicher Frostschäden nicht angewendet werden, höchstens Heisswasser-Luftheizung,

bei welcher die Röhren mit einer nicht gefrierbaren Flüssigkeit gefüllt sind.

Dampf-Luftheizung dagegen ist unter denselben Bedingungen wie Feuer-Luftheizung und besonders für grosse Räume und bei seltener Benutzung derselben häufig mit Unterstützung direkt anzuordnender Heizröhren für die Erwärmung der Räume vor Anwesenheit der Personen, lediglich als Lüftungsanlage, zu empfehlen, also für grosse Concerträume, Theater, Versammlungssäle, Krankenräume u. s. w. Besonders ist sie für Lüftungszwecke oder Erwärmung grosser und zahlreich besuchter Räume anzuordnen, wenn für die Erwärmung der übrigen Räume direkte Dampfheizung oder Dampf-Warmwasser- bezw. Dampf-Wasserheizung in Anwendung kommen soll.

Zwanzigstes Kapitel.

Prüfung von Anlagen.

I. Lüftungsanlagen.

Die Prüfung von Lüftungsanlagen erstreckt sich der Hauptsache nach auf Bestimmung des Kohlensäuregehalts der Luft in den gelüfteten Räumen, auf Messung der Luftgeschwindigkeit in den Kanälen, auf Feststellung der Temperaturen in den Räumen, sofern eine höchste zulässige Temperatur vorgeschrieben worden ist, und auf Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts.

a) **Bestimmung des Kohlensäuregehalts.** Für dieselbe giebt es eine ganze Anzahl von Methoden, von denen die v. Pettenkofer'sche und für schnellere Bestimmung die Lunge'sche zu empfehlen ist. Auf die Beschreibung dieser und der anderen Methoden soll hier nicht näher eingegangen und kann bezüglich derselben auf die Abhandlung von Bitter, Zeitschrift für Hygiene, Bd. IX, 1890 verwiesen werden.

Es ist wünschenswerth, wenn nach etwa einjähriger Benutzung eines mit einer Lüftungsanlage versehenen Gebäudes eine einmalige Prüfung des Lüftungseffekts durch Kohlensäurebestimmung bei vorschriftsmässiger Besetzung der Räume stattfindet. Für gering besetzte Räume genügt im allgemeinen die Feststellung des stündlichen Luftwechsels.

b) **Messung der Luftgeschwindigkeit.** Da es meist nicht auf die Bestimmung der Luftmenge für das ganze Gebäude, sondern auf diejenige für einen jeden einzelnen Raum ankommt, so sind die Messungen in den einzelnen Zu- und Abluftkanälen oder da dies meist schwer angängig ist, an den Mündungen dieser Kanäle in den betreffenden Räumen vorzunehmen. Die Messungen werden in der Praxis mit Hilfe von Anemometern, d. h. mittelst eines durch den Luftstrom in Bewegung gesetzten Flügelrädchens bewirkt.

Die Geschwindigkeit der Luft in dem Querschnitt eines Kanals ist eine nicht durchweg gleichmässige und besonders ist dieselbe bei einer um einen rechten Winkel zur Kanal-Achse liegenden Ein- oder Austrittsöffnung eine sehr verschiedene. Um die mittlere Geschwindigkeit der Luft zu erhalten, müsste man eigentlich zu gleicher Zeit an einer grösseren Anzahl Stellen des Querschnitts oder der Mündung des Kanals Messungen anstellen, doch würde dies sehr umständlich sein und nicht zu unterschätzende Widerstände für die Luftbewegung hervorrufen.

Am besten ist es, mit einem Anemometer unter gleichmässiger beständiger oder in gewissen kurzen und gleichen Zeitabschnitten bewirkten Verschiebung des Instruments in dem Kanalquerschnitt oder an den Mündungen die Messungen zu bewirken.

Die an den Mündungen der Kanäle befindlichen Gitter sind bei den Messungen nicht zu beseitigen.

Die Anemometer müssen in Zeitabschnitten auf ihre Richtigkeit entweder unmittelbar vor oder nach den Versuchen geprüft und die Ergebnisse mit Hilfe der durch die Prüfung gefundenen Gleichung bestimmt werden.

Meistens findet die Prüfung der Anemometer in einem freien Luftstrome statt und sind dieselben auch dann nur für einen solchen zu verwenden. Werden dieselben in ein Rohr eingesetzt, welches gerade das Flügelrad begrenzt, so zeigen sie nach Versuchen des Verfassers durchaus andere Werthe. Es ist auf diesen Umstand besonders aufmerksam zu machen.

Um die Luftbewegung im Raume sichtbar zu machen, ist das Verbrennen von Schiesspulver im Zuluftkanal am Fusse desselben zu empfehlen. Zugerscheinungen, die durch unliebsame Richtungsänderung der Zuluft in Folge Anprall an irgend einen Körper (Unterzug u. s. w.) leicht hervorgebracht werden können, finden hierdurch häufig die gewünschte Erklärung und durch Ablenkung der einströmenden Luft meist die erforderliche Beseitigung.

c) **Feststellung der Temperatur in den Räumen.** Die gewöhnlichen Zimmerthermometer sind im allgemeinen für Messungen nicht zu empfehlen. Stehen keine anderen zur Verfügung, so muss man vor

oder nach Benutzung derselben ihre Fehler durch Vergleich mit einem Normal-Thermometer in einem grossen Gefässe mit Wasser von der Temperatur des Raumes feststellen.

Der Ort, an welchem die Thermometer aufgehängt werden, ist von grosser Wichtigkeit. Am besten ist es, eine Anzahl Thermometer anzuwenden, doch genügt im allgemeinen bei Abnahme von Anlagen, die Temperatur $1^1/_2$ m vom Fussboden in der Mitte des Raumes durch ein von der Decke herabhängendes Thermometer zu messen. Ist dies nicht angängig, dann muss das Thermometer in der Mitte einer Scheidewand, deren andere Seite von einem beheizten Raume begrenzt wird, mit etwa 1 bis 2 cm Abstand aufgehängt werden. Naturgemäss ist das Thermometer vor der strahlenden Wärme eines etwa vorhandenen Heizkörpers zu schützen.

Bei genauen Messungen der Temperaturverhältnisse in einem Raume empfiehlt sich die Anordnung einer grösseren Anzahl Thermometer, von denen immer eines über Fussboden, eines in Kopfhöhe und eines unter der Decke in senkrechter Richtung sich befinden soll. Für mittelgrosse Räume sind alsdann schon etwa 9 derartige Anordnungen, also 27 Thermometer erforderlich.

d) **Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts.** Besteht die Vorschrift über Einhaltung eines bestimmten Feuchtigkeitsgehalts in den Räumen, so hat dieselbe den Zweck, die Anwesenden vor zu grosser Feuchtigkeitsentziehung zu schützen. Da die Anwesenden um so mehr Feuchtigkeit abgeben, je grösser das Sättigungsdefizit der sie umgebenden Luft ist, so zeigen in der Regel die Messinstrumente bei voller Besetzung der Räume einen genügenden Feuchtigkeitsgehalt. Es ist daher bei der Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts, welchen die Anlage hervorzurufen hat, angezeigt, in unbenutztem Zustande der Räume bei voller Lüftung die Messungen vorzunehmen.

Die in der Praxis angewandten Hygrometer, von denen dasjenige von Saussure mit Koppe'scher Justirung am meisten zu empfehlen ist, bedürfen alle für ihre jeweilige Einstellung eine gewisse Zeit und ausserdem öfterer Justirung; Schleuder-Psychrometer, welche diese Eigenschaften nicht besitzen, sind daher als geeignetere Instrumente für Prüfungszwecke zu empfehlen.

II. Heizungsanlagen.

Die Prüfung der Heizungsanlagen in der Praxis beschränkt sich — abgesehen von der gesammten technischen Ausführung — hauptsächlich nur auf die Erzielung der vorgeschriebenen Temperaturen und soweit eine Luftheizung in Frage steht, noch auf die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts. In bezug auf diese

Untersuchungen ist auf das bei den Lüftungsanlagen Gesagte zu verweisen.

Dringend wünschenswerth ist es jedoch, die Prüfung auch auf die Temperatur der abziehenden Rauchgase auszudehnen.

Vielfach muss in der Praxis der Auftragnehner für den Brennmaterial-Verbrauch der von ihm gelieferten Heizungsanlage Gewähr übernehmen — eine Zumuthung, die auf einer durchaus unrichtigen Anschauungsweise beruht. Einmal sind die Temperatnr-Verhältnisse in jedem Jahre andere, dann aber hängt der Verbrauch an Brennmaterial wesentlich mit von der Bedienung der Anlage ab.

Für die Bedienung kann der Auftragnehmer nicht aufkommen, wohl aber für die Wirkung der von ihm gelieferten Feuerungsanlagen, d. h. für die Temperatur der abziehenden Verbrennungsgase bei dem höchsten Wärmeerfordernisse.

Bei zu kleinen Heizapparaten müssen die Heizgase mit sehr hoher Temperatur entweichen, damit die erforderliche Wärmeaufnahme stattfindet, bei grossen Heizapparaten, welche freilich theurer sind, findet eine bessere Ausnutzung des Brennmaterials statt. Es sollte daher jederzeit die höchste zulässige Temperatur der abziehenden Verbrennungsgase vorgeschrieben und später durch Messung festgestellt werden.

Zu dieser Bestimmung ist ein hochgradiges Thermometer mit Stickstofffüllung zu verwenden, welches durch eine bei jeder Feuerungsanlage vorzusehende eingemauerte und verschliessbare Hülse in den Schornstein bezw. Fuchs eingelassen werden kann. Im allgemeinen wird im Beharrungszustand die Temperatur der abziehenden Verbrennungsgase, sofern der Schornstein in nächster Nähe der Feuerungsanlage sich befindet, etwa 100° bis 150° C. höher als die Temperatur der erwärmten Flüssigkeit anzunehmen sein. Für das Anheizen, sowie bei weit abliegendem Schornstein ist für die Temperatur der Rauchgase etwa 300° C. zu gestatten.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Aufstellung des Programms und der besonderen Bedingungen für die verschiedenen centralen Lüftungs- und Heizungsanlagen.

Das Programm einer Anlage bildet die Grundlage für die Ausführung und somit auch diejenige für den erforderlichen Effekt, ist mithin für das Gelingen der Anlage von einschneidender Bedeutung.

Im Folgenden werden alle diejenigen Punkte Aufnahme finden, welche in der Regel ein Programm enthalten sollte, sofern auf Grund desselben ein Wettbewerb beabsichtigt wird.

Jedem Programme sind Angaben über die Lage des Gebäudes nach Himmelsgegend und Umgebung, über den höchsten Grundwasserstand und den Einfluss von Wetter und Wind, sowie über den Zweck und die Art und Dauer der täglichen Benutzung der Räume voranzustellen.

A. Programmbedingungen in bezug auf den Effekt der Anlagen.

I. Für sämmtliche Lüftungsanlagen.

Für diese sind anzugeben:

a) **Der geringste erforderliche Luftwechsel.**

Derselbe ist der Tabelle S. 13. zu entnehmen, übersteigt derselbe jedoch die Grösse des fünffachen Rauminhalts, so ist nur diese vorzuschreiben (S. 11).

Ueber den fünffachen Luftwechsel darf der Anftragnehmer unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht hinausgehen, bis zu demselben muss ihm jedoch gestattet werden den vorgeschriebenen zu steigern, sofern dies nach den weiter zu stellenden Bedingungen erforderlich ist. Er hat jedoch die nothwendige Steigerung durch Rechnung zu belegen, und sofern er auch mit dem fünffachen Luftwechsel die gestellten Bedingungen nicht erfüllen kann, die vorzunehmende Aenderung derselben anzugeben und nachzuweisen.

b) **Die voraussichtlich grösste Anzahl von Personen**, welche sich in den einzelnen zu lüftenden Räumen aufhalten werden.

c) **Die Art und Weise der Beleuchtung der Räume**; bei Gasbeleuchtung ausserdem die Anzahl der Flammen und die Anordnung derselben.

Diese Angaben sind nur erforderlich, sofern eine bestimmte Temperatur in den Räumen nicht überschritten werden darf.

d) **Die erforderliche geringste Temperatur in den Räumen** (S. 24).

e) **Die höchste zulässige Temperatur in den Räumen** (S. 10).

Diese ist nur vorzuschreiben, wenn die Temperatur in den Räumen in Folge der Anwesenheit einer grossen Anzahl von Personen oder der Anordnung einer umfangreichen Gasbeleuchtung ohne Einführung kühlerer Luft eine zu bedeutende Höhe erreichen würde.

f) **Die höchste und niedrigste Temperatur der äusseren Luft**, bei welcher der erforderliche Luftwechsel noch erzielt werden soll (S. 23).

g) **Die Entnahmestellen der frischen Luft** (S. 17).

h) **Die Art der Reinigung der von aussen entnommenen Luft** (S. 18).

i) **Die Höhe des zu erzielenden Feuchtigkeitsgehalts** in den zu lüftenden Räumen vor Benutzung derselben (S. 6).

k) **Die Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen** (Ueber- oder Unterdruck bezw. Lage des Gleichgewichtes mit der äusseren Luft) (S. 49).

l) **Die Räume, welche im Kellergeschoss für die Anlage zur Verfügung gestellt werden können.**

Die Angabe soll eine derartige sein, dass sofern der Bewerber auch nicht alle Räume benutzen darf, er doch eine freie Auswahl unter denselben treffen kann.

II. Für sämmtliche Heizungsanlagen.

Für diese sind anzugeben:

a) **Die Temperatur, welche in den Räumen noch bei der niedrigsten Aussentemperatur herrschen soll** (S. 24).

b) **Die niedrigste äussere Temperatur,** bei welcher noch die in den Räumen geforderte Wärme erzielt werden soll (S. 118).

c) **Die Feuerungsanlagen:**

α) Das Brennmaterial, welches in Anwendung kommen soll; wenn möglich auch die betreffende Zeche.

β) Die Temperatur, mit welcher die Verbrennungsgase in den Schornstein treten dürfen (S. 266).

γ) Die Forderung rauchfreier Verbrennung während des Beharrungszustandes. (In der Regel ist ein leichter durchsichtiger Rauch zu gestatten.)

δ) Die Räume, welche im Kellergeschoss für die Anlage zur Verfügung gestellt werden können (s. auch I, 1).

III. Für Warmwasserheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) **Feuerungsanlage.**

α) Die höchste zulässige Temperatur, bis auf welche das Wasser erwärmt werden darf (S. 133).

β) Die Dauer des täglichen Anheizens.

γ) Die bedingte Annahme eines Ersatzkessels.

δ) Die Grössen-Verhältnisse der Heizkessel — sofern deren mehrere vorhanden sind — zu einander (S. 148).

ε) Die bedingte Annahme eines selbstthätigen Verbrennungsreglers bei ununterbrochenem Betriebe.

ζ) Die Bedingung, dass bei ununterbrochenem Betriebe Nachtbedienung ausgeschlossen bleiben muss.

η) Die Entwässerung und Speisung der Anlage.

b) **Heizkörper.**

α) Die Art der Heizkörper (S. 158).

β) Die Regelung der Wärmeabgabe (S. 153).

γ) Die Entlüftung der Heizkörper (S. 145).

δ) Allgemeine Anordnung der Heizkörper in den Räumen (S. 130).

c) **Die Rohrleitung.**

α) Vertheilung des warmen Wassers (S. 143).

β) Anordnung getrennter Sammelleitungen für Heizkörper welche in Räumen gleicher Himmelsgegend liegen.

γ) Herstellung der Rohrleitung (S. 153).

Meistens ist die Wahl der Röhren und deren Dichtungen dem Auftragnehmer zu überlassen. Wünschenswerth bleibt nur anzugeben, welche Muffendichtung für die Röhren von geringem Durchmesser in Anwendung zu bringen ist (S. 154) und aus welchem Material die grösseren Formstücke (Abzweige u. s. w.) hergestellt sein sollen (S. 154).

δ) Die Sicherung der Wanddurchgänge mittelst einzumauernder Hülsen (S. 154).

ε) Anordnung der Röhren.

Hierbei ist hauptsächlich vorzuschreiben, ob die senkrechten Röhren frei liegen oder in Wandschlitzen unterzubringen sind, und ob die Wandschlitze hohl vermauert oder mit Platten verkleidet werden sollen (S. 154).

ζ) Befestigung der Röhren.

Hierbei ist nur anzugeben, dass die Röhren sich, ohne Beschädigung zu erleiden, ausdehnen können (S. 154).

η) Anstrich und Schutz der Röhren gegen Wärmeabgabe (S. 155).

d) **Das Ausdehnungsgefäss.**

α) Die Art des Gefässes bei Mitteldruckheizung (Gefäss mit Ventil oder Windkessel).

β) Die Lage desselben im Gebäude.

e) **Prüfung der Anlage unter Druck.** (S. 154).

IV. Für Heisswasserheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) **Die höchste zulässige Temperatur des Wassers** (S. 133).

b) **Die Kuppelung der Systeme** (S. 186).

c) **Umkleidung der Röhren,** welche nicht Wärme abgeben sollen.

d) **Allgemeine Anordnung der Wärmeröhren** in den einzelnen Räumen.

e) **Ausschaltung einzelner Räume von der Erwärmung.** Im allgemeinen sind die Ausschaltungen zu vermeiden (S. 186).

f) **Anordnung von Ausdehnungsgefässen oder Ausdehnungsröhren** (S. 186).

g) **Prüfung der Anlage unter Druck** (S. 185).

V. Für Hochdruckdampfheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) **Feuerungsanlagen.**

α) Die Dauer des täglichen Anheizens vom Anlassen des Dampfes bis zum Eintritt der geforderten Wärme in den Räumen bei der niedrigsten Aussentemperatur).

β) Die bedingte Annahme eines Ersatzkessels.

γ) Die Speisung der Kessel.

In dieser Beziehung ist eine Angabe über die Beschaffenheit des Wassers, welches zu Speisezwecken dienen soll, zu machen und ferner vorzuschreiben, dass das Niederschlagswasser zur Speisung zu verwenden ist.

b) **Die Heizkörper.**

α) Die höchste zulässige Spannung des Dampfes in dem vom Kessel am entferntesten gelegenen Heizkörper (S. 207).

β) Die Art der Heizkörper (S. 206).

γ) Die Regelung der Wärmeabgabe (S. 206).

δ) Allgemeine Anordnung der Heizkörper in den Räumen (S. 130).

c) **Die Rohrleitung.**

α) Material (S. 207).

β) Zulässige Spannung des Dampfes in der Leitung vom Kessel bis zum Vertheilungsstrang, sowie diejenige im Vertheilungsstrang selbst (S. 208).

γ, δ, ε, ζ und η wie bei Warmwasserheizung.

d) **Prüfung der Anlage unter Druck.** (S. 204.)

VI. Für Niederdruckdampfheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) **Feuerungsanlage.**

α) Die Dauer des täglichen Heizbetriebes (Unter- oder ununterbrochener Betrieb).

β) Die bedingte Annahme eines Ersatzkessels.

γ) Die Bedingung, dass bei ununterbrochenem Betriebe Nachtbedienung ausgeschlossen bleiben muss.

b) **Die Heizkörper.**

β, γ und δ der Hochdruck-Dampfheizung.

c) **Die Rohrleitung.**

α der Hochdruckdampfheizung,

δ, ε, ζ und η der Warmwasserheizung.

d) **Prüfung der Anlage unter Druck.** (S. 222.)

VII. Für Dampfwarmwasserheizung.

Für diese sind die betreffenden Angaben von III und V zu machen.

VIII. Für Dampf-Wasserheizung.

Für diese sind die betreffenden Angaben von V zu machen und ausserdem die Betriebsdauer bei der niedrigsten Aussentemperatur zu bestimmen.

IX. Für Feuer-Luftheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) **Die höchste zulässige Temperatur der in die Räume strömenden Luft** während und vor Benutzung der Räume (S. 25).

b) **Die Entnahmestellen der frischen Luft** (S. 17).

c) **Die Art der Reinigung** der von aussen entnommenen Luft (S. 18).

d) **Der zu erzielende Feuchtigkeitsgehalt** in den zu lüftenden Räumen vor Benutzung derselben (S. 6).

e) **Bedingungen für die Güte des Heizapparats,** insonderheit das Vermeiden von Glühendwerden einzelner Theile desselben (S. 234).

f) **Die weiteren bei Lüftungsanlagen zu machenden Angaben,** sofern bei der Luftheizung nicht nur auf Erwärmung der Räume, sondern auch auf eine bestimmte Lüftung derselben Werth gelegt werden muss.

X. Für Wasser- bezw. Dampfluftheizung.

Für diese sind die betreffenden Bedingungen von III oder IV und IX bezw. V und IX massgebend.

XI. Für Kühlungsanlagen.

Für diese sind anzugeben:

a) Die niedrigste zulässige Temperatur der einzuführenden Luft (S. 25).

b) Die höchste Temperatur der Aussenluft (S. 242).

c) Die höchste zulässige Temperatur in den Räumen bei Benutzung derselben.

d) Der höchste zulässige Feuchtigkeitsgehalt in den zu lüftenden Räumen (S. 6).

B. Programmbedingungen in bezug auf Angebot und Ausführung der Anlagen.

Für dieselben kann folgender Entwurf dienen.

1. Angebot. Bezüglich des Angebots sind vom Bewerber zu liefern:

a) Ein Entwurf, welcher nur insoweit auf genauer Berechnung zu beruhen und Massangaben zu enthalten braucht, als dieselben für den Nachweis der Ausführbarkeit der Anlage, sowie für den Kostenanschlag erforderlich sind.

b) Ein Erläuterungsbericht, in welchem gleichzeitig etwaige Bedenken gegen das Programm enthalten sein müssen.

c) Ein Nachweis über die angestellte Berechnung der Anlagen.

d) Die zum Verständnisse des Entwurfs und Prüfung des Kostenanschlags erforderlichen Zeichnungen einzelner Theile der Anlage oder der veranschlagten Konstruktionen.

e) Ein prüfungsfähiger Kostenanschlag.

Derselbe muss einen Betrag enthalten, für welchen sich der Bewerber verpflichtet, die genaue Durchrechnung der Anlage und des Kostenanschlags für die Ausführung vorzunehmen; ausserdem einen Betrag in Höhe von 5 % der zu liefernden Gesammtarbeiten für mögliche Aenderungen und Ergänzungen des Entwurfs in Folge der Ergebnisse des Wettbewerbs oder der genauen Durchrechnung.

Der Kostenanschlag ist für eine jede Anlage getrennt aufzustellen. Aus den einzelnen Ansätzen muss deutlich der Zweck, die Art und Weise der veranschlagten Gegenstände hervorgehen.

Alle Heizapparate sind nach der Heizfläche und Gewicht, Kessel auch nach Wandstärke anzugeben, Heizkörper, von denen die schmiedeeisernen grundirt geliefert werden müssen, getrennt von den Kosten der Aufstellung in Ansatz zu bringen. Alle Rohrleitungen sind mit dem inneren und äusseren Durchmesser und einschliesslich des Verlegens und Dichtmaterials aufzunehmen, die Formstücke, Lagerung und Befestigungstheile derselben in einem bestimmten Verhältnisse zum Preise der Rohrleitungen anzugeben. Gitter, Klappen, Schieber sind nach Fläche, Ausdehnungsgefässe für Wasser, Saugkappen für Abzugschächte nach Mass aufzuführen.

Der Anschlag muss alle zur vollständigen Herstellung der Anlagen erforderlichen Theile enthalten; ist dies nicht der Fall, so hat gleichwohl der Bewerber dieselben und zwar ohne Anspruch auf Entschädigung zu liefern. Erd-, Maurer-, Stemm-, Zimmerer-, Tischler- und Maler-Arbeiten sind nicht zu veranschlagen; dieselben lässt die Bauleitung, soweit sie jedoch für die Güte der Anlagen von Wesenheit sind, nach den schriftlichen Angaben bezw. Zeichnungen des Auftragnehmers und unter seiner Verantwortung für die Richtigkeit derselben ausführen.

Der Kostenanschlag ist in folgende Titel zu ordnen:

Titel I. Wärmeentwickler (Kessel, Luftheizapparate u. s. w. mit allem Zubehör.

Titel II. Heizkörper mit allem Zubehör, einschliesslich der Regelungsvorrichtungen für die Wärmeabgabe.
„ III. Rohrleitungen und deren Anstrich, Mauer- und Decken-Schutzhülsen, Wärmeschutzmasse.
„ IV. Ausdehnungsgefässe, Niederschlagswasserableiter, Hauptventile, Dampfdruck-Reduzirventile u. s. w.
„ V. Regelungsvorrichtungen für Luftkanäle, nebst Gittern, Filtern, Saugkappen u. s. w.
„ VI. Insgemein.

2. Ablehnung und Ankauf von Entwürfen. Sofern durch die Prüfung der eingegangenen Angebote sich eines derselben nach Ansicht der Bauleitung bezw. des zugezogenen Sachverständigen für die Ausführung in allen wesentlichen Theilen als das annehmbarste ergiebt, so haben die übrigen Bewerber, oder wenn kein Angebot den zu stellenden Ansprüchen genügt, die sämmtlichen Bewerber keinen Anspruch auf Entschädigung für ihre Arbeiten und erhalten dieselben zurück. Sofern aber einige Entwürfe einzelne wesentliche Anordnungen enthalten, deren Ausführung ebenfalls wünschenswerth erscheint, so verpflichten sich die betreffenden Bewerber gegen einen Betrag von .... Mark dem Auftraggeber bezw. der Bauleitung ihren Entwurf und Kostenanschlag zur freien Benutzung zu überlassen. Alle Zeichnungen einzelner Theile und Konstruktionen erhalten die Bewerber dagegen zurück.

3. Engerer Wettbewerb. Kann kein Angebot als das annehmbarste bezeichnet werden, ergeben sich vielmehr mehrere Entwürfe bei Abwägung der Vorzüge und Nachtheile nach Ansicht der Bauleitung oder des von derselben befragten Sachverständigen als gleichwerthig, so findet zwischen den betreffenden Bewerbern ein engerer Wettbewerb nach den entsprechend ergänzten Bedingungen statt. Bei dem erneuten Wettbewerbe dürfen die Einheitspreise der Kostenanschläge nicht erhöht werden.

Die alsdann eingehenden aber nicht zur Ausführung kommenden Entwürfe gehen wie unter 2 gegen Zahlung eines Betrages von .... Mark in den Besitz des Auftraggebers bezw. der Bauleitung über.

4. Ertheilung des Zuschlags. Der Verfertiger des annehmbarsten Angebots ist verpflichtet, unter Berücksichtigung der empfehlenswerthen Anordnungen der etwa angekauften Entwürfe, unverzüglich den für die Ausführung zu Grunde zu legenden Entwurf und Kostenanschlag anzufertigen bezw. sein Angebot entsprechend zu vervollständigen und hierfür die erforderliche genaue Berechnung anzustellen. Die Arbeiten sind alsdann unter Nachweis der Berechnung zur Genehmigung einzureichen und erfolgt nach derselben die Ertheilung des Zuschlags.

Der Auftragnehmer ist auch nach Ertheilung des Zuschlags verpflichtet, nach der Ansicht der Bauleitung oder des Sachverständigen etwa erforderliche Probestücke einzelner Theile oder Konstruktionen kostenfrei vorzulegen, auch noch nöthige Einzelzeichnungen zu liefern.

5. Vertragsabschluss. Unter den nachstehenden von dem Auftragnehmer zu erfüllenden Bedingungen erfolgt der Vertragsabschluss.

a) **Beginn der Arbeiten.** Nach erfolgter schriftlicher Aufforderung hat der Auftragnehmer innerhalb .... Tagen mit den Arbeiten zu beginnen und dieselben innerhalb .... Monaten zu beenden.

Unverschuldete Verzögerungen in der Fertigstellung der Arbeiten hat der Auftragnehmer dem Auftraggeber bezw. der Bauleitung anzuzeigen und werden diese alsdann gebührend berücksichtigt.

Verzögerungen durch Verschulden des Auftragnehmers sollen, sofern sie für Fertigstellung des ganzen Gebäudes von Wesenheit sind, eine Kürzung seines Guthabens in Höhe von .... Mark für jeden Tag der Verzögerung zur Folge haben.

b) **Probebetrieb und Uebernahme der Anlagen.** Nach Fertigstellung der Anlagen hat ein Probebetrieb stattzufinden, durch welchen der betriebsfähige Zustand und die ordnungsmässige Ausführung der Anlagen nachgewiesen werden soll. Die hierzu erforderlichen Mannschaften und Apparate hat der Auftragnehmer zu stellen, das Brennmaterial (bezw. auch das Wasser) die Bauleitung zu liefern.

Der Probebetrieb ist bis zur Beseitigung der bei demselben auftretenden Mängel fortzusetzen. Vor Einstellung des Probebetriebs ist die Anwesenheit des Auftragnehmers oder eines Bevollmächtigten erforderlich und findet alsdann die Uebernahme der Anlagen seitens der Bauleitung statt. Die Uebernahme geschieht unter Aufsetzung eines beiderseitig zu unterschreibenden Protokolls.

c) **Bedienung der Anlagen.** Für den späteren Betrieb und die Bedienung der Anlagen hat der Auftragnehmer Vorschriften ausarbeiten und die Heizer, welche möglichst schon bei der Probeheizung anwesend sein sollen, genügend unterrichten zu lassen. Der Auftragnehmer ist verpflichtet, unaufgefordert, jedoch gegen Erstattung der etwa erforderlichen Reisekosten im Laufe der ersten Betriebsperiode mindestens einmal sich persönlich oder durch einen Bevollmächtigten von dem ordnungsmässigen Zustande der Heizungsanlage zu überzeugen und etwa hierbei gefundene Mängel in der Bedienung der Anlagen zur Anzeige zu bringen.

d) **Gewähr des Auftragnehmers.** Für die sämmtlichen Anlagen in allen ihren Theilen, sowohl in bezug auf Erfüllung der gestellten Bedingungen und des geforderten Effekts als in bezug auf Materialien und Güte der Ausführung hat der Auftragnehmer eine Gewähr bis zu dem Zeitpunkte zu übernehmen, an welchem die Anlagen zwei

Heizperioden hindurch betrieben oder drei Jahre von der Bauleitung übernommen worden sind.

Während dieser Zeit hat er auf seine Kosten alle sich herausstellenden Fehler zu beseitigen und alle nöthigen Reparaturen, soweit solche durch sein Verschulden hervorgerufen sind, auszuführen. Die naturgemässe Abnutzung der Roste — mit Ausnahme von Wasserrohrrosten — fällt nicht unter die Gewähr.

Sofern ein Zweifel über den Effekt der Anlagen herrscht, welchen der Auftragnehmer nicht theilt, soll bei geeigneter Aussentemperatur ein höchstens dreitägiger Probebetrieb stattfinden, zu welchem der Auftragnehmer eigene Arbeiter zu stellen berechtigt ist.

Bei diesem Probebetriebe werden die Thermometer in den einzelnen Räumen 1,5 m vom Fussboden entfernt, entweder von der Decke herab in der Mitte der Räume oder in der Mitte einer neben einem geheizten Raume befindlichen Scheidewand aufgehängt und vor den Einflüssen der Wärmestrahlung vorhandener Heizkörper genügend geschützt.

Die Geschwindigkeit der einströmenden bezw. abströmenden Luft wird durch Messung mittelst des Anemometers der Bauleitung festgestellt, dessen nachträgliche Aichung erfolgen soll, sofern die Richtigkeit der Ergebnisse von seiten des Aufragnehmers angezweifelt wird. Die Kosten dieser Aichung trägt die Bauverwaltung, sofern das Anemometer unrichtige Luftgeschwindigkeiten angezeigt hat, anderenfalls der Auftragnehmer.

Die Temperaturbestimmung der Verbrennungsgase erfolgt durch ein hochgradiges Thermometer, für dessen Einsetzung in den Fuchs oder Schornstein der Auftragnehmer von Haus aus für jeden Heizapparat eine verschliessbare Hülse der Bauleitung behufs Einmauerung zu übergeben hat.

Die Feststellung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft wird durch Schleuder-Psychrometer bewirkt.

Für Sicherstellung seiner Verpflichtungen hat der Auftragnehmer bei Abschluss des Vertrags 5 % der Anschlagssumme in baar oder kautionsfähigen Papieren zu hinterlegen, deren fällige Zinsscheine dem Auftragnehmer auf Wunsch auszuliefern sind.

Machen sich nach der ersten Heizperiode Aenderungen oder Reparaturen nöthig, so soll die Bauleitung berechtigt sein, die Gewährszeit um ein Jahr hinauszuschieben und falls Mängel auch dann noch auftreten, diese auf Kosten des Auftragnehmers unter Verwendung der hinterlegten Gewährssumme durch eine andere Firma beseitigen zu lassen.

Alle Reparaturen sind ungesäumt vom Auftragnehmer auszuführen; kommt derselbe der diesbezüglichen schriftlichen Auf-

forderung innerhalb der für dieselben billig zu bemessenden Zeit nicht nach, so ist die Bauleitung berechtigt, die Arbeiten auf Kosten des Auftragnehmers durch eine andere Firma herstellen zu lassen.

Dasselbe darf Platz greifen, sofern sofortige Reparaturen zur Sicherheit des Betriebes oder des Gebäudes erforderlich werden und der Auftragnehmer der Aufforderung zur Vornahme dieser Arbeiten, welche geeigneten Falls auf telegraphischem Wege zu geschehen hat, nicht ungesäumt nachkommt.

e) **Abschlagszahlungen und Rechnungsaufstellung.** Abschlagszahlungen in $^7/_8$ der geleisteten Lieferungen und Arbeiten, jedoch nicht unter .... Mark sollen dem Auftragnehmer auf seinen Antrag jederzeit gewährt werden. Auf die binnen 4 Wochen vom Tage der Uebernahme in doppelter Ausführung einzureichende Rechnung soll binnen 6 Wochen die Schlusszahlung des durch die Prüfung festgesetzten Betrags erfolgen.

Falls der Auftragnehmer einer rechtzeitigen Aufforderung, an der Aufmessung sich zu betheiligen, nicht nachkommt, so erfolgt dieselbe durch die Bauverwaltung allein und ist für die Rechnung massgebend.

Ergiebt die Endsumme der Rechnung einen höheren Betrag als diejenige des Kostenanschlags, so kommt nur die letztere zur Auszahlung, sofern bauliche Aenderungen eine Abweichung von dem Entwurfe nicht herbeigeführt haben.

Anhang.

Vorschriften zur Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungsanlagen in den unter Staatsverwaltung stehenden Gebäuden Preussens.

Anweisung
zur Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungsanlagen.

---

§ 1. Vorbereitungs-Arbeiten.

Für Gebäude, welche Centralheizungs- und Lüftungsanlagen erhalten sollen, ist schon bei Vorlage des allgemeinen Bauentwurfes im Erläuterungsberichte unter eingehender Begründung anzugeben, welche Heizungs- und Lüftungsart nach den örtlichen Verhältnissen und nach der Zweckbestimmung des Gebäudes am geeignetsten erscheint. Die vorgeschlagene Anlage ist dabei in allgemeinen Umrissen zu erläutern.

Bei Ausarbeitung des ausführlichen Bauentwurfes und Kostenanschlages sind die Heizungs- und Lüftungsanlagen eingehend in folgender Art zu berücksichtigen:

a. in den Grundrissen sind die Heizstellen, die Räume für Brennstoffe, die Rauchröhren sowie die Canäle für frische und verbrauchte Luft zu bezeichnen;

b. im Erläuterungsberichte ist die Gesammtanlage eingehend zu beschreiben und zugleich über die zur Wettbewerbung (§ 2) heranzuziehenden Unternehmer sowie über den Zeitpunkt der Ausführung das Nähere anzugeben;

c. im Kostenanschlage ist der erforderliche Geldbetrag überschläglich nach dem cubischen Inhalte der zu heizenden Räume bezw. nach dem Gesammtwärmebedarf auf Grund von Erfahrungssätzen (vergl. die statistischen Mittheilungen in der Zeitschrift für Bauwesen) zu ermitteln.

Zugleich ist für alle mit der Herstellung verbundenen Nebenarbeiten ein entsprechender Procentsatz der überschläglich berechneten Kosten der Heizanlage in Tit. XV einzusetzen.

Ferner ist der etwaige Ankauf solcher Heizentwürfe, welche nicht zur Ausführung gewählt werden können, jedoch in Einzelheiten verwerthbar sind, im Titel Insgemein vorzusehen.

Gleichzeitig mit dem ausführlichen Kostenanschlage ist unter Beachtung der seitens der Prüfungsbehörden bei Gelegenheit der Prüfung des allgemeinen Entwurfes gegebenen Weisungen, und der in Anlage A enthaltenen Vorschriften, das Programm für die später einzuleitende Wettbewerbung nebst den erforderlichen Berechnungen vorzulegen. Ungewöhnliche oder von den allgemeinen Bestimmungen der Anlage A abweichende Forderungen sind hierbei durch Unterstreichen der betreffenden Worte hervorzuheben.

Nach Ertheilung des Auftrages zur Bauausführung hat die Bauverwaltung ungesäumt unter Beachtung der seitens der Prüfungsbehörden bei Gelegenheit der Prüfung des Programmes gegebenen Weisungen die Wettbewerbung einzuleiten.

Diese Maſsnahmen sind so frühzeitig zu treffen, daſs die Prüfung und Feststellung der Angebote noch vor Beginn der Maurerarbeiten abgeschlossen werden kann.

§ 2. Verdingung der Ausführung.

a. Ausschreibung.

Die Verdingung der Ausführung soll auf Grund einer Wettbewerbung erfolgen, zu welcher bei Anlagen im voraussichtlichen Kostenbetrage unter 20 000 Mark bis zu drei, bei gröſseren Anlagen drei bis fünf geeignete Unternehmer aufzufordern sind.

Als Unterlage dienen das Programm, die Zeichnungen und die Berechnung der Wärmeverluste unter Berücksichtigung der bei der Prüfung vorgeschriebenen Aenderungen bezw. Ergänzungen. Ausserdem sind die allgemeinen Bestimmungen, betreffend die Vergebung von Leistungen und Lieferungen für die Hochbauten der Staatsverwaltung, die Bedingungen für die Bewerbung um Arbeiten und Lieferungen vom 17. Juli 1885, sowie die für die Ausführung maſsgebenden besonderen Bedingungen zu Grunde zu legen.

b. Prüfung der Angebote.

Die eingegangenen Angebote nebst den zugehörigen Berechnungen sind von der Bauverwaltung technisch und rechnerisch zu prüfen. Nachdem festgestellt ist, wie weit die einzelnen Entwürfe den Forderungen des Programms entsprechen, bleibt zu ermitteln, welches Angebot das für die Staatsverwaltung annehmbarste ist.

Zu diesem Zwecke sind in einer Tabelle alle wesentlichen Theile der Anlage nach Gröſse und Beschaffenheit sowie nach Vordersätzen und Einheitspreisen für jeden Bewerber gesondert zusammenzustellen.

Sämmtliche Unterlagen sind sodann mit Begleitbericht der vorgesetzten Dienstbehörde (bei Universitätsbauten dem Curator) vorzulegen, wobei die Ertheilung des Zuschlages an einen der Bewerber

mit etwaigen Abänderungs- und Ergänzungsvorschlägen zu beantragen ist.

Zugleich sind die zum Ankauf geeigneten Entwürfe (§ 1) zu bezeichnen und Vorschläge für die etwa zu gewährenden Entschädigungen zu machen.

Nach Prüfung der Entwürfe und Berechnungen ertheilt die vorgesetzte Dienstbehörde (bezw. der Curator), sofern die Kosten der Anlage den Betrag von 20000 Mark nicht erreichen, ihrerseits den Zuschlag und erstattet hierüber der Ministerial-Instanz Anzeige.

Bei höheren Kostensummen jedoch, sowie unabhängig von den Kosten in allen denjenigen Fällen, in welchen besondere Schwierigkeiten vorliegen oder bisher nicht erprobte Constructionen zur Anwendung kommen sollen, bleibt die Entscheidung der Ministerial-Instanz vorbehalten.

c. Abschlufs des Vertrages.

Mit dem ausgewählten Bewerber ist zunächst der Entwurf und die Kostenberechnung für die Ausführung endgültig festzustellen und sodann ein Vertrag abzuschliefsen.

Dem Vertrage sind beizufügen: die allgemeinen Vertragsbedingungen vom 17. Juli 1885 unter Berücksichtigung der Abänderungen und Ergänzungen vom 22. Juni 1891 und vom 12. December 1891 — die besonderen Bedingungen — das Programm — sowie das Angebot des Unternehmers mit den etwa erforderlich gewordenen Ergänzungen oder Abänderungen.

Diese Schriftstücke nebst den zugehörigen Zeichnungen sind durch beiderseitige Unterschrift als zum Vertrage gehörig anzuerkennen.

§ 3. Ausführung und Abnahme.

Mit der Ausführung der Heizanlage auf der Baustelle hat der Unternehmer binnen der in den besonderen Bedingungen festgestellten Frist zu beginnen, sobald er von der Bauverwaltung durch eingeschriebenen Brief dazu aufgefordert ist, und die Arbeiten und Lieferungen so zu fördern, dass die ganze Anlage innerhalb der vertraglichen Fristen völlig fertig gestellt wird. Sobald die Ausführung beendet ist, hat die Bauverwaltung die Anlage in allen Theilen zu prüfen und festzustellen, ob die Vertragsbedingungen erfüllt, oder noch Aenderungen und Nacharbeiten seitens des Unternehmers zu bewirken sind. (vergl. IV. 1. der Anlage A.)

§ 4. Uebergabe an die nutzniefsende Behörde.

Für die Uebergabe des Gebäudes an die nutzniefsende Behörde (§ 255 der Dienstanweisung für die Bauinspectoren der Hochbau-

verwaltung) hat der Baubeamte eine „Betriebsvorschrift“ über die Behandlung der Heizanlage auf Grund der in der Anlage A unter IV. 2 erwähnten Vorschläge des Unternehmers auszuarbeiten. Zu diesem Zwecke hat der Baubeamte diese Vorschläge zu prüfen, durch Bestimmungen über regelmäfsige Temperatur-Beobachtungen, Buchung des Brennstoff-Verbrauches u. dergl. zu ergänzen und diese Ausarbeitungen alsdann seiner vorgesetzten Dienstbehörde bezw. dem Curator einzureichen.

In den unter § 2. b. bezeichneten Fällen erfolgt die Genehmigung durch die Ministerial-Instanz.

Es ist dafür Sorge zu tragen, dafs diese Betriebsvorschrift spätestens bis zum Tage der Uebergabe des Gebäudes endgültig festgestellt ist.

§ 5. Eintragung in die Inventarienzeichnungen.

Die Heizanlage ist der Ausführung entsprechend mit den wichtigsten Einzelheiten in die vorschriftsmäfsigen Inventarienzeichnungen (§ 290 der Dienstanweisung) unter Beischrift kurzer Erläuterungen am Rande der Zeichnungen einzutragen.

Der bei der Bauinspection verbleibenden Ausfertigung sind Einzelzeichnungen der Wärme-Entwickler, Heizkörper und sonstiger wichtiger Theile der Anlage beizufügen.

§ 6. Controle der Heizungs- und Lüftungsanlage.

a. Controle durch den Baubeamten.

Der Baubeamte hat während jeder Heizperiode zweimal die Heizungs- und Lüftungsanlage einer eingehenden Besichtigung zu unterziehen und von der Art des Betriebes Kenntnifs zu nehmen. Diese Besichtigungen können mit der vorschriftsmäfsigen allgemeinen Revision der Staatsgebäude (§ 110 der Dienstanweisung) verbunden werden. Von dem Zeitpunkte der regelmäfsigen Besichtigungen ist jedesmal der zuständige Regierungs- und Baurath rechtzeitig in Kenntnifs zu setzen, um ihm Gelegenheit zur Theilnahme an den Besichtigungen zu geben.

Bei den Besichtigungen innerhalb der Gewährleistungszeit ist festzustellen, ob die Anlage durchweg den vertragsmäfsigen Anforderungen unter Berücksichtigung der derzeitigen Benutzungsart und etwaiger äufserer Umstände, welche die Wirkung der Heizung und Lüftung beeinflussen, entspricht oder ob etwa Aenderungen und Ergänzungen auf Kosten des Unternehmers veranlasst werden müssen.

Zu diesem Zwecke ist während der Gewährleistungsfrist die Wirkung der Heizung in den wichtigsten Räumen durch Messung der Wärme zu beobachten und das Ergebnifs mit den Aufzeichnungen

der nutzniefsenden Behörde (§ 6. b.) zu vergleichen. Ausserdem ist in solchen Räumen, in welchen sich eine gröfsere Anzahl von Menschen längere Zeit aufzuhalten pflegt, die Wirkung der Leistung durch Beobachtungen mittels des Anemometers und der Feuchtigkeitsgrad der Luft durch Prüfung mit dem Hygrometer zu ermitteln. Sofern diese Messungen ein den Bedingungen entsprechendes Ergebnifs liefern und keine Aenderungen oder Ergänzungen nöthig erscheinen, auch keine Klagen oder Anstände seitens der nutzniefsenden Behörde erhoben werden, kann eine Wiederholung der Messung unterbleiben.

Um die Ausnutzung der Brennstoffe festzustellen, ist überdies bei den Besichtigungen die Temperatur der von den Heizapparaten abziehenden Rauchgase zu messen. Bei den Besichtigungen nach Ablauf der Gewährleistungszeit ist festzustellen, ob und welche Ausbesserungs- und Ergänzungsarbeiten im Laufe des Sommers zur Ausführung gelangen müssen, um die Anlage betriebsfähig zu erhalten.

Sofern diese Arbeiten von solcher Bedeutung sind, dafs eine Prüfung durch den Baubeamten nothwendig ist, hat dieser die erforderlichen Anordnungen zu treffen und deren Ausführung zu überwachen. In allen dringenden Fällen, namentlich dann, wenn Gefahr im Verzuge ist, hat der Baubeamte sofort die nöthigen Anordnungen zu treffen und hiervon der nutzniefsenden Behörde Mittheilung zu machen.

Im übrigen hat der Baubeamte dauernd darauf zu achten, dafs die Kosten des regelmäfsigen Betriebes sich in angemessenen wirthschaftlichen Grenzen halten. Zu diesem Zwecke ist er bei der Verdingung des Bedarfes an Kohlen und sonstigen Brennstoffen insoweit mitzuwirken verpflichtet, als er auf Ersuchen der nutzniefsenden Behörde über die eingegangenen Lieferungsangebote nebst den vorgelegten Proben ein Gutachten abzugeben und seine Vorschläge bezüglich des annehmbarsten Angebotes der genannten Behörde mitzutheilen hat.

Es liegt dem Baubeamten ferner ob, bei seinen Besichtigungen die gelieferten Brennstoffe auf ihre vertragsmäfsige Beschaffenheit zu prüfen. Zur Controle des Verbrauches sind ihm die über die Verwendung von Brennstoffen geführten Listen (vergl. § 6. b.) zur Einsichtnahme vorzulegen.

Der Baubeamte ist schliefslich berechtigt und verpflichtet, die Befähigung und Thätigkeit der Heizer zu überwachen und im Falle von etwaigen Ungehörigkeiten der nutzniefsenden Behörde Mittheilung zu machen.

b. Controle durch die nutzniefsende Behörde.

Damit die Wirkung der Heizungs- und Lüftungsanlagen mit Sicherheit beurtheilt werden kann, ist es nothwendig, dass die nutz-

niefsende Behörde nach Anweisung des zuständigen Herrn Ministers durch ihre Beamten während der Gewährleistungszeit, wöchentlich einmal vor Beginn der Dienststunden, die Temperatur in allen von der Centralheizung erwärmten Räumen und die äufsere Temperatur in Graden Celsius messen und in eine Liste eintragen läfst. Falls in den Gebäuden eine Anzahl gleichartiger und gleichliegender Räume vorhanden ist, können diese Messungen auf einzelne dieser Räume beschränkt werden.

Der Verbrauch an Brennstoffen ist dagegen dauernd in prüfungsfähiger Weise zu buchen. Die Kosten dafür sind unter Angabe der Einheitspreise für die ganze Heizperiode zu ermitteln. Diese Aufzeichnungen über Wärmemessungen und Brennstoffverbrauch werden durch die nutzniefsende Behörde dem Baubeamten mitgetheilt.

Das Heizerpersonal ist zu verpflichten, dem Baubeamten jede Auskunft zu geben und nach seinen Anweisungen bei der Behandlung der Heizanlage zu verfahren. Falls ein besonderer Heizingenieur angestellt ist, hat der Baubeamte sich mit diesem ins Benehmen zu setzen.

§ 7. Statistische Nachweisungen.

Thunlichst unmittelbar nach Ausführung der Heizungs- und Lüftungsanlagen ist, sobald die Ausführungskosten sich mit annähernder Sicherheit übersehen lassen, unter Benutzung der Tabelle b eine einmalige Nachweisung durch den Baubeamten auszuarbeiten und nach Prüfung seitens der vorgesetzten Dienstbehörde mir einzureichen.

Weiterhin ist bis zum Ablaufe der Gewährleistungszeit unter Benutzung der Tabelle c, jährlich, nach beendeter Heizperiode, eine Nachweisung über die Betriebsergebnisse auszuarbeiten und nach Prüfung seitens der vorgesetzten Dienstbehörde spätestens bis zum 15. Juli mir einzureichen.

§ 8. Geltungsbereich.

Die vorstehenden Bestimmungen sind bei allen Bauten, deren Ausführung oder Ueberwachung der Staatsbauverwaltung bestimmungsgemäfs obliegt, zur Anwendung zu bringen. Sie gelten in der Regel für die Bauten aller Ressorts, gleichviel ob die Kosten ganz oder nur theilweise aus Staatsfonds gedeckt werden, desgleichen für solche Bauten, deren Kosten aus Stiftungsfonds getragen werden, welche unter Staatsverwaltung stehen.

Für Kirchen-, Pfarr- und Schulbauten, zu welchen aus dem Patronatsbaufonds oder dem Allerhöchsten Dispositionsfonds bei der General-Staatscasse Beiträge gewährt werden, wird die Anwendung der Bestimmungen nicht unbedingt gefordert, aber insoweit empfohlen,

als die Umstände des einzelnen Falles, insbesondere die Leistungsfähigkeit der Betheiligten, es gestatten.

Mit dieser Mafsgabe gelten die Bestimmungen für alle neu auszuführenden sowie für solche Anlagen, bei denen die Gewährleistungsfrist bei Erlafs dieser Anweisung noch nicht abgelaufen ist, während die im § 6. a. vorgeschriebenen regelmäfsigen Besichtigungen auch bei allen älteren Anlagen vorzunehmen sind.

Berlin, den 15. April 1893.

Der Minister der öffentlichen Arbeiten.
(gez.) Thielen.

Anlage A.

Anleitung

zur Aufstellung von Programmen und Entwürfen für Centralheizungs- und Lüftungs-Anlagen.

(Zur Anweisung vom 15. April 1893.)

I. Ausarbeitungen der Bauverwaltung.

1. Darstellung und Beschreibung der Anlage.

In den Zeichnungen sind darzustellen:

a. die Lage des Gebäudes und seiner Umgebungen unter Angabe der Nordlinie,

b. die mit Raumnummern, sowie Längen- und Flächenmafsen versehenen Grundrisse aller Geschosse,

c. die wesentlichsten Durchschnitte unter Angabe des höchsten Grundwasserstandes.

Den Zeichnungen ist eine kurze Beschreibung des Gebäudes unter Angabe der Art und Dauer der Benutzung seiner einzelnen Räume sowie der Betriebsunterbrechungen beizufügen, auch ist anzuführen, inwieweit das Gebäude seiner Lage nach den Einflüssen von Wind und Wetter besonders ausgesetzt ist. Ferner ist anzugeben, wie das zu Heizzwecken zur Verwendung kommende Wasser beschaffen ist und ob es etwa Kesselstein bildende Bestandtheile in ungewöhnlicher Menge aufweist.

In der Beschreibung sind ferner bezüglich der zweckmäfsigsten Lage der Rauchröhren, Luftcanäle, der Stellen für die Entnahme frischer Luft sowie der Räume zum Unterbringen der Centralheizapparate und der Brennstoffe Vorschläge zu machen und geeignetenfalls durch Eintragen in die Zeichnungen klar zu stellen. Auch ist anzugeben, welche Rohrleitungen in Schlitze oder Canäle zu legen und mit Gittern oder Platten abzudecken sind.

2. Angaben über Art und Ausdehnung der Heizung und Lüftung.

Für die einzelnen Räume ist die Art der Heizung zu bezeichnen und anzugeben, ob sie durch Centralheizung nach einem oder meh-

reren verschiedenartigen Systemen erwärmt werden, oder ob sie Localheizung erhalten sollen.

Bei Luftheizungen ist anzugeben, ob sie mit oder ohne Umlauf oder für beide Fälle anzuordnen sind. Umlaufheizung wird nur zum Anheizen und im allgemeinen nur bei grofsen Räumen anzunehmen sein, während bei ihrer Benutzung sowie für alle Räume mittlerer Gröfse lediglich Frischluftheizung vorzusehen ist.

Soweit es zur Klarstellung erforderlich ist, sind bei den zeichnerischen Darstellungen folgende helle Farbentöne zu wählen: für Luftheizung grün, für Heifswasserheizung roth, für Warmwasserheizung blau, für Dampfheizung gelb. Die nicht zu heizenden und die mit Localheizungen zu versehenden Räume sind weifs zu lassen oder anderweitig kenntlich zu machen.

Sollen einzelne, an die Centralheizung angeschlossene oder mit Localheizung versehene Räume nur von Zeit zu Zeit geheizt werden, so ist dies ausdrücklich hervorzuheben.

Es ist ferner anzugeben, welche Räume eine künstliche Lüftung erhalten sollen. Diejenigen Räume, welche wegen ihrer Zweckbestimmung und der Zahl der in ihnen sich aufhaltenden Personen einer häufigeren Lufterneuerung bedürfen, sind besonders zu bezeichnen.

3. Berechnung der Wärmeverluste.

Nach dem in der Tabelle a gegebenen Beispiele ist eine Berechnung der Wärmeverluste aufzustellen. Hierbei sind alle diejenigen den Raum umschliefsenden Flächen aufzunehmen, welche nach aufsen liegen oder an kältere bezw. wärmere Räume innerhalb des Gebäudes anstofsen.

Bei Ermittelung der Wärmeabgabe durch die verschiedenen Bautheile ist deren Dicke und Fähigkeit für Wärmeleitung, sowie der Temperatur-Unterschied zwischen innen und aussen bezw. zwischen Räumen ungleicher Erwärmung in Betracht zu ziehen.

Die der Berechnung zu Grunde zu legende niedrigste Ortstemperatur, bei welcher noch die vorgeschriebene Erwärmung ohne übermäfsige Anspannung der Heizanlage erzielt werden mufs, ist, soweit möglich, nach dem zehnjährigen Durchschnitt anzugeben.

II. Ausarbeitungen der zur Verdingung aufzufordernden Bewerber.

1. Zeichnungen, Berechnungen und Erläuterungen.

Die Bewerber haben ihren Entwurf für die Anlage der Heizung und Lüftung in die ihnen von der Bauverwaltung übergebenen Zeichnungen einzutragen und eine prüfungsfähige Berechnung der

Gröfse der Wärme-Entwickler, der Rostflächen, Schornsteine, des Lüftungsbedarfes, der Luftcanäle, Heizkörper u. dgl. aufzustellen.

In einer Erläuterung ist die ganze Heizungs- und Lüftungsanlage eingehend zu beschreiben. Zugleich sind hierbei etwaige Bedenken gegen die Forderungen des Programmes und gegen die Berechnungen der Bauverwaltung zum Ausdrucke zu bringen. Auch steht es dem Bewerber frei, selbstständige Gegenvorschläge zu machen. Dagegen ist für die Entwurfsbearbeitung jedenfalls der seitens der Bauverwaltung ermittelte Wärmebedarf als Grundlage beizubehalten.

In den Zeichnungen ist, in Ergänzung oder Abänderung der seitens der Bauverwaltung gemachten Vorschläge, darzustellen:

> Die Lage der Rauchröhren, der Luftcanäle, ihrer Ein- und Ausströmungsöffnungen sowie der Frischluftentnahmestellen, die Lage der Centralheizapparate und der Räume für Brennstoffe, die Anordnung der Rohrleitungen unter Angabe der Compensationsvorrichtungen, der Hauptventile und der Expansionsgefäfse sowie die Stellung der Heizkörper.

Bei Luftheizungen ist die Lage der Frischluft-, Abluft- und Umlauf-Canäle anzugeben und bei etwaiger Wahl von Vorrichtungen zur Mischung kalter und warmer Luft deren Wirkung und Betrieb durch Zeichnung und Beschreibung zu erläutern.

Je nach den örtlichen Verhältnissen und der Art der Feuerungsanlagen ist der geeignetste Brennstoff und die voraussichtliche Temperatur der abziehenden Rauchgase zu bezeichnen, auch ist anzugeben, welches Bedienungspersonal zum ordnungsmäfsigen Betriebe erforderlich ist.

An Einzelzeichnungen sind beizufügen: Darstellung der Wärme-Entwickler, Heizkörper, Rohrverbindungen, Ventile, Gitter, Lüftungsklappen, Compensationsvorrichtungen, Expansionsgefäfse und dergleichen. Hierzu können vorhandene Drucksachen und Pausen verwendet werden.

2. Kostenberechnung.

Die Kosten der Anlage sind getrennt nach den etwa vorkommenden verschiedenen Arten der Heizung und Lüftung in einer ausführlichen Berechnung zu veranschlagen.

Diese Kostenberechnung soll alle zur betriebsfähigen Herstellung der Anlage erforderlichen Leistungen und Lieferungen, auch die Beträge für Fracht- und Reisekosten umfassen, sofern nicht bestimmte Theile durch das Programm ausdrücklich ausgeschlossen sind.

Dagegen sind die Kosten für Stemmarbeiten, Herstellung des Mauerwerkes bei Luftheizöfen, Kesseln, Canälen und dergleichen,

Verputzen der durch Mauern und Decken geführten Röhren, sowie für Einsetzen und Verputzen der Lüftungsklappen, Schieber und dergleichen einschliefslich der dazu erforderlichen Baustoffe, auch für Tischler-, Maler- und Lackirer-Arbeiten, nicht in die Kostenberechnung aufzunehmen.

Der Bewerber hat für die Richtigkeit der von ihm zu liefernden Zeichnungen zu denjenigen Nebenarbeiten, welche vor Beginn der Montirung der Heizungsanlage zur Ausführuug gelangen, die volle Verantwortung zu übernehmen, desgleichen auch für die richtige Ausführung der während der Montirung nach seinen Zeichnungen oder Angaben herzustellenden Nebenarbeiten. Bei Ansatz der Preise ist hierauf Rücksicht zu nehmen.

Die für die einzelnen Bestandtheile wie für Kessel, Luftheizöfen, Heizkörper und dergleichen gewählten Wandstärken sind sowohl in den Einzelzeichnungen als der Kostenberechnung genau anzugeben.

Alle Wärme-Entwickler und Heizapparate sind nach der Heizfläche und dem Gewicht, und zwar getrennt von den Kosten der Aufstellung in Ansatz zu bringen. Alle Rohrleitungen sind mit dem inneren und äufseren Durchmesser und einschliefslich des Verlegens und des Dichtungsmateriales sowie eines Anstriches mit Mennige aufzunehmen, die Formstücke, Lagerungs- und Befestigungstheile in einem bestimmten procentualischen Verhältnisse zum Gesammtpreise der Rohrleitungen anzugeben. Die Wärmeschutzumhüllungen sind nach dem Längenmafs und dem äufseren Durchmesser der zu umhüllenden Rohre zu berechnen.

Geschmiedete und gufseiserne Gitter, Drahtgitter, Klappen und Schieber, Expansionsgefäfse und Saugkappen für Abzugsschächte sind nach Stückzahl, Mafs und Wandstärken aufzuführen.

Die Kostenberechnung ist nach folgenden Titeln zu ordnen:

Tit. I. Wärme-Entwickler (Kessel, Luftheiz-Apparate u. dergl.) mit allem Zubehör, einschliefslich der zur Ausrüstung gehörigen Thermometer und Pyrometer.

Tit. II. Heizkörper mit allem Zubehör einschl. der Regelungsvorrichtungen für die Wärmeabgabe.

Tit. III. Rohrleitungen, Mauer- und Decken-Schutzhülsen, Wärmeschutzmasse.

Tit. IV. Expansionsgefäfse, Condenstöpfe, Hauptventile, Reductionsventile.

Tit. V. Regelungsvorrichtungen für Luftcanäle nebst Gittern, Filtern, Saugkappen u. s. w.

Tit. VI. Insgemein.

III. Technische Vorschriften für die Bearbeitung der Programme und Entwürfe.

1. Grad der Erwärmung und Stärke des Luftwechsels in den einzelnen Räumen.

Als Wärmegrade sind in der Regel vorzuschreiben:

für Krankenzimmer	22° C.
„ Geschäfts- und Wohnräume	20° „
„ Säle, Auditorien und Hafträume sowie Einzelschlafzellen für Gefangene	18° „
„ Sammlungs- und Ausstellungsräume, Flure, Gänge und Treppenhäuser, je nach ihrer Benutzung und dem auf ihnen stattfindenden Verkehr	12—18° „

Hafträume, welche lediglich zum gemeinschaftlichen Schlafen der Gefangenen dienen, bleiben ungeheizt.

Der Berechnung ist ferner in der Regel ein Luftwechsel für Kopf und Stunde zu Grunde zu legen und zwar:

in Krankenzimmern für Erwachsene von etwa	80 cbm
„ „ „ Kinder „ „	40 „
„ Einzelhaftzellen „ „	30 „
„ Räumen für gemeinschaftliche Haft	20 „
„ Versammlungssälen, Hörsälen und Geschäftsräumen von	20 „
„ Schulklassen, je nach dem Alter der Schüler von	10—25 „

Für Flure und Treppenhäuser ist in der Regel stündlich ein halb- bis einmaliger Luftwechsel vorzusehen. Dienen die Flure zum zeitweiligen Aufenthalt einer gröſseren Anzahl von Personen, so ist stündlich ein zweimaliger Luftwechsel erforderlich.

Sämmtliche angegebene Werthe gelten nur für Räume, bei denen eine Ueberheizung durch Wärmeabgabe der Insassen oder durch die Beleuchtung nicht zu befürchten steht oder bei Erwärmung der Räume durch Luftheizung kein gröſserer Luftwechsel erforderlich wird. In diesen Fällen ist eine besondere Berechnung für den Luftwechsel aufzustellen.

In Aborten und anderen Räumen, in denen sich übele Gerüche oder Dünste entwickeln, ist unabhängig von der Entlüftung der übrigen Bautheile die Berechnung der Abluftcanäle thunlichst für einen fünffachen, mindestens aber für einen dreifachen Luftwechsel durchzuführen.

2. Berechnung der Wärmeverluste.

Für die Berechnung der Wärmeverluste sind folgende Temraturen in Ansatz zu bringen:

für ungeheizte bezw. nicht täglich geheizte, abgeschlossene Räume im Keller und in den übrigen Geschossen	0° C.
„ ungeheizte, öfter von der Aussenluft bestrichene Räume, wie Durchfahrten, Vorhallen und Vorflure	— 5° „
„ unmittelbar unter der Dachfläche liegende Räume bei Metall- und Schieferdächern	— 10° „
bei dichteren Bedachungsarten, wie Ziegel, Holzcement u. s. w.	— 5° „

Bei Dauerbetrieb der Heizung sind die stündlichen Wärmeverluste für 1° C. Temperatur-Unterschied und 1 qm Fläche wie folgt zu berechnen:

bei vollem Ziegelmauerwerk von	0,12 m	Stärke:	2,40 *WE.*
„ „ „ „	0,25 „	„	1,70 „
„ „ „ „	0,38 „	„	1,30 „
„ „ „ „	0,51 „	„	1,10 „
„ „ „ „	0,64 „	„	0,90 „
„ „ „ „	0,77 „	„	0,80 „
„ „ „ „	0,90 „	„	0,65 „
„ „ „ „	1,03 „	„	0,60 „
„ „ „ „	1,16 „	„	0,55 „

bei Quaderverblendung ist für die gleiche Gesammt-Wandstärke den vorstehenden Werthen ein Zuschlag von 15 % hinzuzurechnen.

Bei vollem Sandstein-Mauerwerk (Quader- oder Bruchstein)

von 0,30 m	Stärke	2,20 *WE.*
„ 0,40 „	„	1,90 „
„ 0,50 „	„	1,70 „
„ 0,60 „	„	1,55 „
„ 0,70 „	„	1,40 „
„ 0,80 „	„	1,30 „
„ 0,90 „	„	1,20 „
„ 1,00 „	„	1,10 „
„ 1,10 „	„	1,00 „
„ 1,20 „	„	0,95 „

Bei Kalkstein-Mauerwerk sind vorstehende Werthe um 10 % zu erhöhen.

Bei Drahtputzwänden von 4 bis 6 cm Stärke . .	3,00 *WE.*
„ „ „ 6 bis 8 „ „ . .	2,40 „
„ Balkenlagen mit halbem Windelboden	
als Fussboden	0,35 „
als Decke	0,50 „
„ Gewölben mit massivem Fussboden	1,00 „

Bei Gewölben mit Dielung darüber als Fussboden	0,45	*WE.*
als Decke	0,70	„
„ hölzernen über dem Erdreich hohl verlegten Fussböden	0,80	„
„ desgl. in Asphalt verlegt	1,00	„
„ massiven Fussböden über dem Erdreich	1,40	„
„ einfachen Fenstern	5,00	„
„ doppelten „	2,30	„
„ einfachen Oberlichtern	5,30	„
„ doppelten „	2,40	„
„ Thüren	2,00	„

Soweit erforderlich sind die mit diesen Werthen berechneten Wärmeverluste durch entsprechende Zuschläge zu erhöhen, wobei die Höhe der Räume, ihre Lage im Gebäude und zu den Himmelsrichtungen, sowie die Art des Betriebes und seine etwaigen Unterbrechungen zu berücksichtigen sind. Diese Zuschläge sind seitens der Bewerber zu begründen und in die Berechnung aufzunehmen.

Bei Berechnung des Wärmebedarfs für solche Räume, welche neben höher erwärmten Zimmern oder Sälen liegen, wie zum Beispiel für Flure und Gänge, ist der durch die Wärmeabgabe der Trennungswände entstehende Wärmegewinn von dem Wärmeverlust in Abzug zu bringen.

Bei Kirchenschiffen und ähnlich hohen, mit grofsen Abkühlungsflächen versehenen Räumen, welche nicht täglich geheizt werden, ist von der Berechnung der Wärmeverluste Abstand zu nehmen. Es soll vielmehr bei den für solche Räume zu entwerfenden Centralheizungen den Bewerbern überlassen bleiben, durch Erfahrungssätze nachzuweisen, dafs eine angemessene Erwärmung programmgemäfs gesichert ist.

3. Berechnung des Luftwechsels.

Die Wahl der höchsten und niedrigsten Aufsentemperatur, bei welcher der erforderliche Luftwechsel erzielt werden soll, hat unter Berücksichtigung der Bestimmung der Räume zu erfolgen.

Die höchste äufsere Temperatur ist im allgemeinen anzunehmen zu:

+ 25°, sofern der Luftwechsel durch die Anlage sowohl im Winter, als im Sommer, erzielt werden soll (mehrstöckige Krankenhäuser, Geschäftsräume für parlamentarische Versammlungen und dgl.),

+ 10°, sofern nur während der Heizperiode die volle Lüftung verlangt wird (einstöckige Krankenhäuser, Schulen, Gerichtsgebäude, Versammlungs-, Cassenräume u. dgl.),

0 bis + 5°, sofern im Winter die volle Lüftung nur durchschnittlich erzielt zu werden braucht (Wohnräume, gering besetzte Bureauräume u. dgl.).

Der für die höchste äufsere Temperatur ermittelte Luftwechsel ist, sofern die Räume nicht gleichzeitig durch die einzuführende Luft erwärmt werden (Luftheizung), jederzeit der Berechnung der Canalanlage zu Grunde zu legen.

Die niedrigste äufsere Temperatur ist mafsgebend für die Grössenverhältnisse des Heizapparates behufs Erwärmung der Zuluft. Soll der volle Luftwechsel auch an den kältesten Wintertagen erzielt werden, oder wird die Erwärmung der Räume an den Luftwechsel geknüpft, so ist die Temperatur gleich der niedrigsten Aufsentemperatur, für welche die Heizanlage bestimmt ist, anzunehmen.

Im allgemeinen ist mit Ausnahme der Luftheizung eine Beschränkung des Luftwechsels bei niedrigen Kältegraden zulässig und für die Lüftungsanlage eine niedrigste Aufsentemperatur von etwa — 5 bis — 10° anzunehmen.

4. Allgemeine Forderungen für alle Heizungsarten.

a. Räume, welche nach entgegengesetzten Himmelsrichtungen liegen oder den herrschenden Winden besonders ausgesetzt sind, müssen in der Regel an getrennte Heizsysteme bezw. Rohrstränge angeschlossen werden.

b. Um Rauchbelästigung zu verhüten, müssen Einrichtungen zur möglichst vollständigen Verbrennung des Rauches vorgesehen werden.

c. Für die Kessel und Heizkammern sind zweckmäfsige Vorkehrungen zum Reinigen zu treffen, auch geeignete Apparate anzuordnen, durch welche die Temperatur des Wassers, der Heizluft sowie der Druck des hochgespannten Dampfes von aufsen sicher ersehen werden kann. Um die Temperatur der abziehenden Rauchgase messen zu können, sind Hülsen zum Einsetzen von Pyrometern oder hochgradigen Thermometern vorzusehen.

d. Kessel und Luftheizöfen müssen zur Vornahme von Ausbesserungen oder zur Erneuerung möglichst bequem aus der Ummantelung und aus dem Gebäude entfernt werden können.

e. Die nicht zur unmittelbaren Wärmeabgabe bestimmten Leitungsröhren sind zur Verhütung von Wärmeverlusten oder Frostschäden mit schlechten Wärmeleitern zu umkleiden. Ueber die Einzelheiten dieser Umkleidungen ist in den Erläuterungen und in der Kostenberechnung das Nähere anzugeben.

f. Bei Führung der Röhren durch Decken und Wände sind Vorkehrungen zu treffen, welche verhüten, dafs an diesen Stellen durch

die Bewegung der Röhren der dichte Schlufs beeinträchtigt und der anstofsende Mörtelputz gelöst wird. Verbindungsstellen dürfen nicht im Innern von Mauern oder Decken liegen.

5. Besondere Forderungen für die einzelnen Heizungsarten.

Luftheizung.

a. Bei der Construction der Luftheizöfen ist Werth auf die Möglichkeit des Auswechselns einzelner Theile zu legen.

Die Öfen müssen eine Heizfläche von solcher Gröfse erhalten und so construirt werden, dafs bei vorschriftsmäfsigem Betriebe ein Erglühen der Eisentheile nicht eintritt bezw. ein Verbrennen der in der Luft enthaltenen Staubtheile an den Heizflächen ausgeschlossen ist.

Sämmtliche Verbindungsstellen müssen so dicht schliefsen, dafs ein Austreten des Rauches oder schädlicher Gase in die Heizkammer nicht möglich ist. Ferner ist darauf zu achten, dafs die Eisentheile sich unbeschadet der Dichtigkeit des Verschlusses ausdehnen können und dafs die Reinigung der Heizflächen von Staub mit Leichtigkeit von der Heizkammer aus erfolgen kann. Die Reinigung der Rauchzüge mufs sich dagegen von einem Raum aufserhalb der Heizkammer, welcher mit der Zuführung frischer Luft in keinem Zusammenhange steht, bewirken lassen. Die Einsteigethür zur Heizkammer ist doppelt aus Eisen herzustellen.

b. Die Lage und Vertheilung der Ausströmungsöffnungen sowie ihre Höhe über dem Fufsboden ist seitens der Bewerber so zu wählen, dafs bei gleichmäfsiger Erwärmung des Raumes eine Belästigung der Insassen durch Luftbewegungen nicht eintreten kann. An den Ausströmungsöffnungen sind Leitbleche so anzubringen, dafs ein Beschmutzen der Wände thunlichst verhindert wird. Die Canäle zur Abführung verbrauchter Luft erhalten in der Regel je eine Oeffnung in der Nähe des Fufsbodens bezw. der Decke. Die oberen Oeffnungen sind namentlich dann erforderlich, wenn Gasbeleuchtung vorgesehen oder die Entwickelung zu hoher Wärmegrade zu befürchten ist. Für die Handhabung dieser Abluftöffnungen sind in der Betriebsvorschrift (IV. 2) besondere Bestimmungen zu treffen.

c. Die Temperatur der in die Räume eintretenden Luft darf 45° nicht überschreiten. Die Betimmung der Geschwindigkeit und die genauere Ermittelung der Temperatur der einströmenden Luft bleibt der Berechnung des Bewerbers vorbehalten.

Bei grofsen Räumen empfiehlt es sich, mehrere Zu- und Abführungs-Canäle anzulegen und, sofern thunlich, ihren Anschlufs an getrennte Heizsysteme vorzusehen.

d. Bei der Einführung der frischen Luft in die Heizkammern sind die unterirdischen Canäle auf möglichst geringe Längen zu beschränken. Um Störungen durch Wind thunlichst vorzubeugen, empfiehlt es sich, die Luftentnahme an zwei entgegengesetzten Stellen derart anzuordnen, dafs je nach der Windrichtung die Luft von der einen oder anderen Seite den Luftheizöfen zugeführt werden kann.

e. Zur Reinigung der frischen kalten Luft von Staub sind, wenn irgend möglich, genügend grofse Staubkammern vorzusehen und Gitter aus Drahtgaze, Filter oder Staubfänger aufzustellen. Diese Vorrichtungen müssen bequem zugänglich sein und behufs Reinigung leicht entfernt werden können.

f. Die Luft in den Räumen soll vor der Benutzung bei vollem Lüftungsbetriebe auf einen Feuchtigkeitsgehalt von etwa 50% gesättigt werden können. Die hierzu erforderlichen Einrichtungen sind von den Bewerbern durch Zeichnungen und Beschreibung zu erläutern.

Heifswasserheizung.

a. Die Heizanlage ist so zu berechnen, dafs zur Erzielung der vorgeschriebenen Wirkung das Wasser nicht über 130° C. erwärmt wird.

b. Die Heizöfen sind so herzustellen, dafs die Feuerschlangen zur Ausbesserung oder Erneuerung ohne wesentliche Beschädigung des Mauerwerkes herausgenommen werden können.

c. Die Röhren müssen überall leicht zugänglich sein und sollen, soweit thunlich, nicht in die Fufsböden verlegt werden.

d. Rohrsysteme, welche zur Erwärmung kalt liegender Lüftungsschlote dienen oder sonst der Gefahr des Einfrierens ausgesetzt sind, müssen statt mit Wasser mit einer anderen geeigneten, schwer gefrierbaren Flüssigkeit gefüllt werden. Derartige Flüssigkeiten dürfen die Rohrwandungen nicht angreifen und keine Krystalle absetzen.

e. Bei Biegung der Röhren um 180° müssen schleifenförmige Erweiterungen vorgesehen werden, wenn die parallel laufenden Röhren weniger als 8 cm von einander entfernt sind.

f. Die ganze Anlage mufs einschliefslich der Feuerschlangen im kalten Zustande einen Probedruck von 150 Atmosphären aushalten können, ohne Undichtigkeiten zu zeigen.

Warmwasserheizung und Dampf-Warmwasserheizung.

a. Die Construction der Kessel mufs unter Angabe der wichtigsten Blechstärken in allen Einzelheiten durch Zeichnungen dargestellt werden, welche zugleich die Einmauerung, die Anordnung des Rostes, der Feuerzüge u. s. w. ersehen lassen.

Das Rücklaufrohr der Leitung darf an keiner Stelle von der Stichflamme der Feuerung getroffen werden.

b. Die Heizanlage ist so zu berechnen, dafs zur Erzielung der vorgeschriebenen Wirkung das Wasser im Kessel nicht über 80° C. erwärmt wird.

c. In den Bauzeichnungen ist die Lage der Röhren und der Compensationen anzugeben, während in besonderen Einzelzeichnungen die Verbindung der Röhren, die Construction der Compensationen und Ventile, sowie die Art der Führung der Röhren durch Wände und Decken darzustellen sind.

d. Von den Heizkörpern müssen Zeichnungen beigefügt werden, aus denen unter Angabe der Materialien und der Blechstärken die Verbindungen und Anschlüsse an die Rohrleitungen ersichtlich sind.

Die Heizkörper sind so herzustellen, dafs sie ohne Beschädigung der Rohrleitungen und Wände abgenommen werden können.

Die Ventile sind in der Regel nicht mit festen Handrädern oder Griffen, sondern mit Aufsteck-Schlüsseln zu versehen.

Die Ventile derjenigen Heizkörper, welche bei zeitweiligem Abschlufs der Gefahr des Einfrierens ausgesetzt werden, sind so zu construiren, dafs eine völlige Unterbrechung des Wasserumlaufes nicht eintreten kann. Um eine Verunreinigung der Wände über den Heizkörpern zu verhüten, sind Vorkehrungen zur Ablenkung der Luft zu treffen.

e. Die Expansionsgefäfse, welche mit Signal- und Ueberlaufröhren auszustatten sind, müssen gegen Einfrieren durch Verkleidungen geschützt werden. Unter jedem Expansionsgefäfs ist ein Sicherheitsboden mit Wasserableitung vorzusehen.

f. Ob Reservekessel erforderlich sind, ist in jedem Falle besonders zu erwägen. Im allgemeinen kann bei Anlage mehrerer Kessel von der Beschaffung eines Reservekessels abgesehen werden. Die gesammte Kesselfläche ist alsdann so zu bemessen, dafs bei der Ausschaltung eines schadhaften Kessels mit den übrigen der Wärmebedarf durch Verlängerung der Heizzeit ohne Schwierigkeit erzielt werden kann.

g. Die gesammte Anlage ist so herzustellen, dafs sie nach der Vollendung, ohne Undichtigkeiten zu zeigen, einer Druckprobe mit kaltem Wasser unterworfen werden kann. Bei dieser Probe ist ein Druck anzuwenden, welcher den im gefüllten System vorhandenen Druck der Wassersäule in der Regel um $2^1/_2$ Atmosphären übersteigt.

Dampfheizung und Dampfwasserheizung.

a. Die Construction der Kessel mufs unter Angabe der wichtigsten Blechstärken in allen Einzelheiten durch Zeichnungen dargestellt

werden, welche zugleich die Einmauerung sowie die Anordnung der Roste und der Feuerzüge, die Vorkehrungen zur selbstthätigen Regelung der Feuerung, die Speisevorrichtungen, die Standrohre und sonstige Constructionstheile ersehen lassen.

b. Die Dampfspannung innerhalb der Vertheilungsleitung soll 1 Atm. Ueberdruck nicht übersteigen. Vom Dampfkessel bis zur Vertheilungsleitung kann eine Dampfspannung bis zu 5 Atm. Ueberdruck gestattet werden. Die alsdann erforderlichen Reductionsventile sind in jedem Falle mit dahinter liegenden Sicherheitsventilen auszustatten.

Bei Dampf-Niederdruckheizung darf die in den Kesseln und der Leitung vorhandene höchste Spannung während des Beharrungszustandes $^1/_3$ Atmosphäre nicht übersteigen.

c. Die Heizung ist so zu construiren, dafs störendes Geräusch, Pochen und Knallen in den Rohrleitungen und Heizkörpern nach dem Anheizen nicht vorkommt.

d. Die bei der Warmwasserheizung unter c., d. und f. aufgeführten Bestimmungen gelten auch hier. Im übrigen ist dafür zu sorgen, dass eine genügende Zahl von Condenstöpfen aufgestellt wird und die Heizkörper in den Zimmern mit Vorkehrungen zum Entleeren und Nachfüllen versehen werden, sofern nicht durch geeignete Vorrichtungen der Wasserstand selbstthätig auf bestimmter Höhe gehalten wird.

e. Die Anlage ist so herzustellen, dafs sie nach Vollendung einer Druckprobe nnd zwar bei Hochdruckdampfheizungen mit dem doppelten Betriebsdruck, mindestens aber mit einem Druck von 4 Atmosphären, bei Niederdruckheizungen von 3 Atmosphären Spannung, ohne Undichtigkeiten zu zeigen, unterworfen werden kann. Für die Druckprobe der Dampfkessel von Hochdruckheizungen gelten die gesetzlichen Bestimmungen.

IV. Allgemeines.

1. Verfahren bei Vornahme von Druckproben und Probeheizungen.

a. Die erforderlichen Druckproben sollen im Beisein des Unternehmers oder seines Vertreters vorgenommen werden. Die hierzu nöthigen Hülfskräfte, Pumpen, Manometer u. dergl. hat der Unternehmer auf seine Kosten zu beschaffen. Betheiligt sich der Unternehmer auf Einladung weder persönlich, noch durch einen Vertreter an der Druckprobe, so begiebt er sich jeden Einwandes gegen den seitens der Bauverwaltung festgestellten Befund.

b. Sobald die Heizung nach ihrem äufseren Ansehen von der Bauverwaltung für sachgemäfs hergestellt erachtet wird, ist thunlichst

bald festzustellen, ob die Anlage im allgemeinen den Vertragsbedingungen entspricht. Zu diesem Zwecke ist eine erste Probeheizung von genügender Dauer vorzunehmen. Zu dieser hat der Unternehmer unentgeltlich die nöthigen Mannschaften zu stellen, während das zur Füllung der Kessel und der Leitungen erforderliche Wasser, sowie die Brennstoffe von der Bauverwaltung geliefert werden.

c. Um endgültig festzustellen, ob die vorgeschriebene Wirkung erzielt wird, soll innerhalb des ersten Winters, nachdem das Gebäude in regelmäfsige Benutzung genommen worden ist, eine zweite etwa achttägige Probeheizung vorgenommen werden. Erweist sich hierbei die Anlage den Bedingungen des Vertrages entsprechend, so soll die Gewährleistungszeit, deren Dauer in den besonderen Vertragsbedingungen vorzusehen, jedoch im allgemeinen nicht über drei Jahre auszudehnen ist, vom Tage der vorerwähnten ersten Probeheizung ab gerechnet werden. Innerhalb dieser Frist sind die zur Erzielung des vertragsmäfsigen Zustandes etwa erforderlichen Nacharbeiten stets so schnell als möglich auszuführen und in ihrer Wirkung zu erproben, widrigenfalls die Gewährleistungsfrist solange um je ein volles Jahr verlängert werden kann, bis der vertragsmäfsige Zustand erreicht ist.

2. Betriebsvorschrift.

Für die Bedienung der Heizung hat der Unternehmer im Einvernehmen mit der Bauverwaltung Vorschläge zu einer „Betriebsvorschrift“ auszuarbeiten. Hierbei sind zu berücksichtigen: Die Bedienung der Feuerungen und Rauchverbrennungsvorkehrungen, die Behandlung der Wärme-Entwickler und ihrer Ausrüstung, sowie der Heizkörper, Luftfilter, Luftbefeuchtungsapparate, Canalverschlüsse u. dgl. Zugleich sind in die Betriebsvorschrift Anweisungen bezüglich der Reinigung aller Theile der Heizanlage und zur Verhütung von Frostschäden aufzunehmen. (Vgl. § 4 der Anweisung.)

Mit allen diesen Obliegenheiten hat der Unternehmer das Bedienungspersonal während der Probeheizungen vertraut zu machen.

Tabelle a

Berechnung

der

stündlichen Wärmeverluste.

Berechnung der stünd

1.	2.					3.								4.	5.		
	Raum					Abkühlungsfläche									Temperatur i. Grad. Celsius		
	a.	b.	c.	d.	e.	a.	b.	c.	d.	e.	f.	g	h.		a.	b.	c.
Lfd. Nr.	Bezeichnung und Nummer des Raumes	Länge m	Breite m	Höhe m	Inhalt cbm	Bezeichnung	Himmelsrichtung	Länge m	Höhe bezw. Breite m	Fläche qm	Anzahl	Abzuziehen qm	In Rechnung gestellt qm	Stärke der Wand qm	Innen	Aussen	Unterschied
1.	Berathungszimmer (Eckzimmer)	5,00	6,00	4,00	120	E. F.	N.	2,1	1,4	2,94	2	—	5,88	—	+20	—20	+40
						E. F.	W.	2,1	1,4	2,94	2	—	5,88	—	+20	—20	+40
						J. T.	—	2,5	1,5	3,75	1	—	3,75	—	+20	+12	+ 8
						A.W.	N.	5,0	4,3	21,5	1	5,88	15,62	0,51	+20	—20	+40
						A.W.	W.	6,0	4,3	25,8	1	5,88	19,92	0,51	+20	—20	+40
						J.W.	—	5,0	4,3	21,5	1	3,75	17,75	0,38	+20	+12	+ 8
						F. B.	—	5,0	6,0	30,0	1	—	30,0	—	+20	± 0	+20
2.	Vorraum	5,0	2,5	4,0	50	E. F.	W	2,1	1,4	2,94	1	—	2,94	—	+12	—20	+32
						J. T.	—	2,5	1,5	3,75	1	—	3,75	—	+12	+20	— 8
						A.W.	W.	2,5	4,3	10,75	1	2,94	7,81	0,51	+12	—20	+32
						J.W.	—	5,0	4,3	21,5	1	3,75	17,75	0,38	+12	+20	— 8
						J.W.	—	5,0	4,3	21,5	1	—	21,5	0,38	+12	+20	— 8
						F. B.	—	5,0	2,5	12,5	1	—	12,5	—	+12	± 0	+12

Bemerkung.

Die Spalten 1 bis 7 sind von der Bauverwaltung, die übrigen Spalten von den Bewerbern auszufüllen. Die Zahl in Spalte 7 wird erhalten durch Multiplication der Zahlen in Spalte 3. h, 5. c und 6.

Beispiel

für die Ausfüllung der Spalten 1 bis 7.

lichen Wärmeverluste. **Tabelle a**

6.	7.			8.		9.	10.
	Wärme-Einheiten ohne Zuschläge			Zuschläge			
Transmissions-coëfficient	a. Abgabe	b. Gewinn	c. im Ganzen (a—b)	a. für Himmelsrichtung bezw. Windanfall	b. für Betriebsunterbrechung	Gesammtsumme der Wärme-Einheiten einschl. der Zuschläge	Bemerkungen
5,00	1176						
5,00	1176						
2,00	60						
1,10	687						
1,10	876						
1,30	185						
0,35	210						
			4370				
5,00	470	—					
2,00	—	60					
1,10	275	—					
1,30	—	185					
1,30	—	224					
0,35	53	—					
	798	469					
		→	329				

Es bedeutet:

E. F. Einfache Fenster
D. F. Doppel-Fenster
J. T. Innenthüren
A. T. Aufsenthüren
J. W. Innenwände
A. W. Aufsenwände
F. B. Fufsboden
D. Decken
E. O. Einfache Oberlichter
D. O. Doppelte Oberlichter.

Für die Höhe einer senkrechten Wand ist die ganze Geschofshöhe einzusetzen.

Skizze zum Zahlenbeispiel. Grundrifs.

Tabelle b

Nachweisung

über die Art und Anlagekosten der Centralheizungs- und Lüftungs-Anlage

in .... zu ....

Art der Heizung ....

Aufgestellt

.... den .... ten .... 189 ......

(Name:) ....

(Amtscharacter:) ....

Geprüft .... den .... ten .... 189 ......

Der Regierungs- und Bau-Rath

....

Nach

über die Art und Anlagekosten der

in ....

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Nummer	Bestimmung des Gebäudes und Ort	Zeit der Ausführung	Ausführende Firma	Cubischer Inhalt der zu erwärmenden bezw. zu lüftenden Räume cbm	Verlangte Temperatur in den zu erwärmenden bezw. zu lüftenden Räumen Grad C.

Bemerkungen betreffend die Ausfüllung der Tabelle.

Sind in einem Gebäude Centralheizungen verschiedener Art vorhanden, so ist für jede eine besondere Tabelle aufzustellen.

In Spalte 5 ist der Inhalt der auf verschiedene Temperatur zu erwärmenden Räume getrennt anzugeben.

In Spalte 7 ist die Art der Heizung und Lüftung kurz, etwa wie folgt, zu beschreiben:

Beispiel für eine Warmwasserheizung:

3 Cornwallkessel mit Donneleyrost,

2 Hauptsteigerohre, Vertheilung im Dachboden getrennte Rücklaufrohre.

In den Geschäftsräumen Cylinderöfen, auf den Fluren u. s. w. Rippenregister.

Abluftrohre nach dem Dachboden ohne künstlichen Antrieb und dergleichen.

weisung

Tabelle b

Centralheizungs- und Lüftungsanlage

.... zu ....

7.	8.			9.
Art der Heizung und Lüftung	Anlagekosten der Heizung und Lüftung			Bemerkungen
	im Ganzen ℳ	für 100 cbm beheizten Raumes ℳ	für 1000 W. E. der für Lüftung und Heizung berechneten Gesammtwärmemenge	

Die in Spalte 8 aufzunehmenden Gesammtkosten sind in Spalte 9 folgendermafsen gesondert aufzuführen:

a. Die Kosten der eigentlichen Heizungs- und Lüftungsanlage,
b. Die Kosten für das Einmauern und Verputzen aller zur Heizung und Lüftung gehörigen Theile,
c. Die Kosten für die durch die Anlage bedingten Nebenarbeiten anderer Handwerker.

In Spalte 9 sind ferner Mittheilungen zu machen über etwaige besondere Verhältnisse und örtliche Umstände, welche auf die Höhe der Anlagekosten von Einflufs gewesen sind.

Tabelle c

Nachweisung

über die Betriebsergebnisse der Centralheizungs- und Lüftungs-Anlage

in .... zu ....

während der Heizperiode 18 /

Art der Heizung ....

Aufgestellt

.... den ....ten.......................189....

(Name:) ....

(Amtscharacter:) ....

Geprüft .... den ....ten.......................189......

Der Regierungs- und Baurath

....

Nach

über die Betriebsergebnisse der

im ....

während der

1.	2.	3.	4.	5.	6.			
						a.	b.	
Nummer	Bestimmung des Gebäudes und Ort	Zeit der Ausführung	Cubischer Inhalt der zu erwärmenden Räume	Verlangte Temperatur der zu erwärmenden Räume	Anzahl der Heiztage	der ersten Anlage im Ganzen	der Unterhaltung im Ganzen	im Ganzen
			cbm	Grad C.		ℳ	ℳ	ℳ

Bemerkungen betreffend die Ausfüllung der Tabelle.

Sind in einem Gebäude verschiedene Anlagen vorhanden, so ist für jede eine besondere Tabelle aufzustellen.

In Spalte 4 ist der Inhalt der auf verschiedene Temperatur zu erwärmenden Räume getrennt anzugeben.

In Spalte 7 sind zu b sämmtliche Ausgaben aufzuführen, welche nach Ablauf der letzten Heizperiode nothwendig waren, um die Anlage in betriebsfähigem Zustande zu erhalten. Wenn völlige Erneuerung einzelner Theile (Kessel, Heizkörper, Rohrleitungen u. s. w.) nothwendig waren, so ist dies in Spalte 10 unter Angabe der hierfür verausgabten Kosten besonders zu vermerken.

weisung

Tabelle c

Centralheizungs- und Lüftungsanlage

.... zu ....

Heizperiode 18 /

7.		8.	9.	10.
Kosten		Bezeichnung des Brennmateriales	Kosten des Brennmateriales für 50 kg	Bemerkungen
c.				
des Betriebes				
bezogen auf einen Betriebstag				
für 100 cbm beheizten Raumes	für 1000 W. E. der für Lüftung u. Heizung berechneten Gesammtwärmemenge		ℳ.	

Zu c sind aufser den Kosten für Brennmaterial noch aufzunehmen und in Spalte 10 getrennt aufzuführen:

Die Gehälter und Löhne für Maschinisten, Heizer und sonstiges Hülfspersonal, sowie die Kosten für die Reinigung sämmtlicher Theile der Heizungs- und Lüftungsanlage einschliefslich der Schornsteine und Canäle.

In Spalte 10 sind ferner Angaben über die Temperatur der abziehenden Rauchgase sowie über etwaige Mängel, welche sich während der Heizperiode bezüglich der Wirkung der Heizung und Lüftung herausgestellt haben und Vorschläge zu deren Abstellung zu machen.

